

Implicaciones ambientales y económicas asociadas al comercio de carbono en Colombia, relacionado con la agroindustria de la caña de azúcar.

Tesis para optar el título de ingeniero ambiental que presentan:

María Eugenia López Sosa

Myriam Andrea Gómez Mariño

Director:

Milton Cesar Ararat Orozco

Ingeniero Agrónomo ph. d.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, y del Medio Ambiente

2015

Implicaciones ambientales y económicas asociadas al comercio de carbono en Colombia, relacionado con la agroindustria de la caña de azúcar.

Autores:

María Eugenia López Sosa

Myriam Andrea Gómez Mariño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, y del Medio Ambiente

Notas de autor: correo electrónico: [maeuloso@gmail.com](mailto:maeuloso@gmail.com) - [myan0320@gmail.com](mailto:myan0320@gmail.com)

Septiembre de 2015

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Aprobada en Fecha

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Orientador

## **Agradecimientos**

*A Dios por darnos la oportunidad de vivir siempre un nuevo mañana, para construir nuestros sueños y hacerlos realidad en este tiempo y este espacio.*

*A mi madre, mi padre y mis hermanos que son ese motor que me permite avanzar en todos los momentos de mi vida. A Carlos Mario Bautista, mi compañero de vida, mi guía y quien significa un reto para crecer en la vida. Gracias por el apoyo incondicional y por no permitirme desfallecer.*

*Existen personas que de manera anónima, han motivado este proceso, a ellos gracias por brindarme su buena energía y por impulsar mis pasos. A la Universidad del Valle, por facilitar mi crecimiento profesional.*

*Al Ingenio del Cauca S.A., en particular a los ingenieros Jhon Jairo León, Miryan Arango y Carlos Mario Bautista, que acompañaron este trabajo de investigación y aportaron su tiempo y conocimiento de manera desinteresada.*

*Por último y no menos importante a la UNAD, que está conformada por personas comprometidas que día a día a pesar de las adversidades, brindan lo mejor de sí, para hacer realidad nuestro crecimiento profesional. Al Ingeniero Milton Ararat, que ha confiado en nuestras capacidades y nos guio e impulsó a encontrar conocimientos nuevos.*

*María Eugenia López Sosa*

*Primero a Dios por brindarme fortaleza, entendimiento y los medios para adquirir un logro más a nivel personal y profesional.*

*A mis padres Luis Antonio Gómez y Myriam Mariño, quienes son ejemplo de vida, ya que con su emprendimiento, sabiduría y enseñanzas motivadoras, han forjado en mí, seguridad, carácter, valores, principios y su inmenso amor lo cual me hace ser una persona íntegra.*

*A toda mi familia quien ha sido fuente de inspiración y siempre me ha apoyado en la toma de decisiones en cada uno de mis proyectos.*

*A mis compañeros, quienes con sus experiencias me han aportado grandes conocimientos.*

*A la Institución, docentes y director de tesis, por el desempeño brindado a lo largo de este proceso de aprendizaje y la colaboración en la realización de este proyecto.*

*A la empresa INCAUCA por aportar la información necesaria para llevar a cabo de este proyecto.*

*Myriam Andrea Gómez Mariño*

## Resumen

El Protocolo de Kyoto establece acciones para frenar el cambio climático, entre estas, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que genera oportunidades para Colombia de participar en el comercio de carbono. Sin embargo la vinculación del país en este mercado, debe estudiarse desde sus implicaciones económicas y ambientales con el fin de tomar decisiones adecuadas que favorezcan el desarrollo sostenible del país.

De acuerdo con el Informe anual de la Junta Ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio del año 2014, se ha registrado una participación de América Latina y el Caribe del 17,2%, en programas de MDL.

Después de realizar el trabajo investigativo de estudio de caso, se encontró que del sector agroindustrial de la caña de azúcar en Colombia, únicamente ha participado de proyectos MDL el Ingenio del Cauca S.A., con el proyecto denominado “Fuel Switchfrom Coal to Green HarvestResidues”.

Se logró determinar que a pesar de que el sector agroindustrial de la caña de azúcar posee grandes ventajas para aportar a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y al desarrollo sostenible del país, resulta complejo la presentación y ejecución de proyectos MDL. Porque los estímulos económicos han disminuido considerablemente desde el comienzo de la implementación de este mecanismo a la fecha de hoy.

Los procesos llevados a cabo en este sector agroindustrial, son generadores de gases de efecto invernadero, identificando como los más nocivos campo y cosecha. El proceso de fábrica en cambio no representa impactos ambientales de consideración, esto gracias al uso de energías renovables en casi un 70% de sus procesos. Evidenciándose las mejoras tecnológicas enfocadas a disminuir estos efectos adversos.

**Palabras claves:** Cambio climático, mecanismo de desarrollo limpio, emisión de CO<sub>2</sub>, protocolo de Kyoto.

**Abstract.**

Kyoto protocol establishes actions to stop the climate change, among these, the Clean Development Mechanism (CDM), which generates opportunities for Colombia to take part in the trade of carbon. Nevertheless, to entail the country on this market must be studied from its economic and environmental implications in order to take suitable decisions that favor the sustainable development of the country.

According to the annual Report of the Executive Meeting of the Clean Development Mechanism 2014, there has registered a participation of Latin America and the Carib of 17,2 %, in the CDM's programs.

After doing a research work, a case study, we found that in the agroindustrial sector of the sugar cane, only the "Ingenio del Cauca S.A" has participated in projects with the CDM. The project was called "Fuel Switch From Coal to Green Harvest Residues". It determined that despite of the fact that the sector possesses big advantages to reach the reduction of CO<sub>2</sub> emissions and the sustainable development of the country, it turns out to be complex the presentation and the execution of the program CDM. The economic stimulus has diminished considerably from the beginning of the implementation of this mechanism until today.

The processes carried out in this agroindustrial sector are generators of greenhouse gases, which have been identified like the most harmful for fields and crops. However, the process of factory does not represent environmental impacts of consideration thanks to the use of renewable energies in almost 70 % of its processes. As a result, technological improvements have been noticed for diminishing these adverse effects.

**Key words:** Climate change, Under the Clean Development Mechanism, CO<sub>2</sub> emission, Kyoto protocol.

## Introducción

“En medio de los importantes avances en la eficiencia de la tecnología de la información, los consumidores olvidan fácilmente levantar la vista de las pantallas de sus computadores, celulares inteligentes y tabletas que rápidamente evolucionan (y rápidamente se reemplazan) para darse cuenta de que la compleja existencia moderna, en últimas, se deriva de las mismas bases de siempre: cortar, quemar y cavar. (Pavan, 2013)”

La dinámica de la vida moderna lleva a la economía a un ritmo cambiante, que requiere de grandes cantidades de insumos que provee los recursos naturales. Desde la revolución industrial se ha visto como los combustibles fósiles han sido el motor generador de cambios y avances tecnológicos que han permitido el crecimiento económico, hasta concentrar el desarrollo del planeta tierra en unos cuantos países, llamados desarrollados. A la par están los demás países sub desarrollados o en desarrollo, compitiendo en los mercados globalizados por un lugar privilegiado en la economía.

Se ha identificado que como consecuencia del desarrollo económico de los países, quedan trazas de contaminación que van en contravía con el desarrollo sostenible, caso puntual las emisiones de dióxido de carbono. En este momento las agroindustrias de la caña de azúcar avanzan con innovaciones tecnológicas para maximizar su producción y ser competitivos en los mercados internacionales, donde se ha ingresado gracias a tratados de libre comercio. Como parte de esta competencia de mercados y su consecuente expansión, se ingresa a las filas de los responsables del cambio climático.

De allí la necesidad de participar de las estrategias de mitigación y hacer parte de compromisos establecidos para frenar el cambio climático y aunar esfuerzos que



lleven al desarrollo sostenible del País. Es de esta forma que las empresas agroindustriales de la caña de azúcar se involucran en la ejecución de Proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Con la elaboración del presente trabajo investigativo se espera dejar una contribución que sirva de elemento para la toma de iniciativas que ejecute la comunidad local (Municipio de Cali), Departamental (Valle del Cauca) y Nacional enfocadas al desarrollo sostenible del país. Identificando la conveniencia de participar en los mercados de carbono, identificando y analizando las implicaciones ambientales y económicas asociadas al comercio de carbono por parte de las agroindustria de la caña de azúcar. Brindando la oportunidad de fomentar esta práctica o suprimirla según sea el resultado final del presente trabajo y que sirva de modelo para que otras empresas del sector apliquen a estas iniciativas.

## **Planteamiento del Problema**

El cambio climático es una realidad que es inminente para Colombia. Se puede observar como durante los últimos dos años (2013 y 2014), los marcados cambios climáticos; lluvias prolongadas y severas, períodos de sequías han causado daños en cultivos, viviendas, medio silvestre (flora y fauna), pérdidas humanas, muerte de animales, escases de agua potable y grandes afectaciones en la economía. Esta realidad global es considerada responsabilidad de los países industrializados por las altas emisiones de dióxido de carbono.

Como consecuencia de la dinámica de crecimiento económico globalizado, el planeta ha sufrido alteraciones en su estructura biótica y abiótica. Una de las variaciones que en la actualidad es de gran preocupación a escala mundial, es el cambio climático. El cual se ha convertido en una preocupación que abarca a países desarrollados y en desarrollo, de allí que en 1997 en la conferencia internacional sobre cambio climático en Kyoto (Japón), se llegó a un acuerdo para luchar contra el calentamiento global del planeta.

Entre los mecanismos establecidos en el Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, se encuentra el mecanismo para un desarrollo limpio MDL, cuyo propósito es ayudar a los países desarrollados a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitaciones y reducción de las emisiones contraídos, así como a los países que no están comprometidos con reducciones (caso Colombia) a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la convención.

Como una medida mitigadora el Protocolo de Kyoto, entre las opciones está el comercio de dióxido de carbono. Se estima que el comercio internacional de CO<sub>2</sub> generaría importantes ingresos a la economía Colombiana, sin detrimento de los recursos naturales, mejorando la posición del país, respecto a otros países denominados “desarrollados”, pero no se han estimado las externalidades que

arrastran estos países ante el mundo globalizado y las grandes limitaciones en el sentido ambiental y económico que enfrenta el país al pretender alinearse con estas economías marrón. Es necesario establecer la viabilidad para que las empresas Colombianas accedan al mercado de carbono y la eficiencia ambiental y económica de estas transacciones.

## Tabla de Contenido

1.	Justificación .....	20
2.	Objetivos .....	21
2.1	General .....	21
2.2	Específicos.....	21
3	Marco de Referencia .....	22
3.1	Marco Teórico .....	22
3.1.1.1	Emisiones de Carbono .....	22
3.1.1.2	Cambio Climático.....	22
3.1.1.3	Medidas Mundiales para disminuir el Cambio Climático .....	25
3.1.1.4	Protocolo de Kyoto .....	26
3.1.1.5	Instrumentos Basados en el Mercado.....	28
3.1.1.6	Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) .....	29
3.1.1.7	Principales Características del MDL .....	31
3.1.1.8	Retos que Afronta el Mecanismo para un Desarrollo Limpio.....	33
3.2	Marco Normativo Colombiano Ambiental .....	34
4	Metodología.....	41
4.1	Factores de Emisión de CO <sub>2</sub> .....	43
4.1.1	Factor de Emisión del combustible carbón .....	44
4.1.2	Factor de Emisión del combustible Bagazo .....	44
4.2	Breve Reseña del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar .....	45
4.3	Proceso de Fábrica en Ingenios Azucareros .....	46
5	Requisitos y Factibilidad para la Participación de Empresas Colombianas Agroindustriales del Sector Caña de Azúcar en Proyectos MDL.....	49

5.1	Requisitos de Participación y Elegibilidad en los Proyectos MDL .....	49
5.1.1	Diseño del Proyecto.....	50
5.1.2	Aprobación por Parte de la Autoridad Nacional .....	50
5.1.3	Validación del Proyecto por Entidad Designada .....	51
5.1.4	Registro .....	51
5.1.5	Monitoreo .....	52
5.1.6	Verificación .....	52
5.1.7	Expedición de reducciones certificadas de las emisiones .....	53
5.2	Antecedentes .....	53
5.3	Participación de Empresas Agroindustriales de Caña de Azúcar en Proyectos MDL 55	
5.4	Proyecto MDL Incauca S. A. Fuel Switch from Coal to Green Harvest Residues ..	55
5.4.2	Operación del Proyecto .....	57
5.4.3	Seguimiento al Proyecto MDL .....	58
5.4.4	Retribuciones Económicas de la Ejecución del Proyecto .....	59
5.4.5	Situación actual del proyecto MDL.....	59
6	Parámetros Ambientales.....	61
6.1	Emisiones de CO <sub>2</sub> Relacionadas con el Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar 61	
6.2	Emisiones y Captura de CO <sub>2</sub> en los Ingenios Incauca, Mayaguez y Providencia ..	61
6.2.1	Resultado de Emisiones y Captura de CO <sub>2</sub> en los Ingenios Incauca, Mayaguez y Providencia.....	63
6.3	Análisis de Emisiones de CO <sub>2</sub> en la Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia .....	64
6.4	Situación Actual Emisiones de CO <sub>2</sub> en INCAUCA S.A. relacionadas con el Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar .....	70

6.4.1	Molienda de Caña de Azúcar en Incauca .....	73
6.4.2	Consumo de Carbón y Emisiones de CO <sub>2</sub> en Incauca.....	75
6.4.3	Producción de Vapor Incauca.....	80
6.5	Eficiencia Energética Incauca S.A.....	80
7	Recomendaciones y Conclusiones .....	85
7.1	Recomendaciones .....	85
7.2	Conclusiones .....	88
8	Bibliografía .....	90
9	Anexos .....	97

## **Lista de Figuras**

Figura 1. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el Valle del Cauca

Figura 2. Toneladas de caña de azúcar molida en el Valle del Cauca

Figura 3. Tendencia de las toneladas de caña molida y las emisiones de CO<sub>2</sub> en los ingenios en el Valle del Cauca

Figura 4. Tendencia de la emisión y captura CO<sub>2</sub> de los Ingenios azucareros de Colombia

Figura 5. Tendencia de la relación: Emisión captura CO<sub>2</sub> de los Ingenios azucareros de Colombia

Figura 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> y productividad de caña de azúcar a nivel mundial

Figura 7. Caña molida en Incauca Vs. Caña molida en el sector agroindustrial caña de azúcar

Figura 8. Tendencia de emisiones de CO<sub>2</sub> (ton/año) en Incauca

Figura 9. Participación de Incauca en emisiones de CO<sub>2</sub> en Ingenios de Colombia

Figura 10. Relación de emisiones de CO<sub>2</sub>Incauca Vs agroindustria de la caña de azúcar Colombia

Figura 11. Libra de vapor producido por tonelada de caña

Figura 12. Energía generada Vs. Energía vendida

Figura 13. Relación de carbón comprado versus energía generada

**Lista de Tablas**

Tabla 1 Análisis primario combustible carbón

Tabla 2 Análisis primario del combustible Bagazo

Tabla 3 Valoración de Emisiones de CO<sub>2</sub> en Ingenios tomados como referentes

Tabla 4 Promedio de Emisiones de CO<sub>2</sub> año/ton caña molida

Tabla 5 Emisiones de CO<sub>2</sub> del Sector Agroindustrial Caña de Azúcar, Procesos de Fábrica en Colombia años 2002-2013.

Tabla 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fábrica INCAUCA

Tabla 7. Prueba de comparación de Duncan para los procesos de fábrica del Incauca S.A.

Tabla 8. Eficiencia Energética Incauca S.A



**Lista de Cuadros**

Cuadro 1. Marco Normativo

Cuadro 2. Variables a Estudiar

Cuadro 3. Matriz Motivaciones Participación Proyectos MDL

**Lista de Siglas, Abreviaturas y Símbolos**

Asocaña: Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia

CDM: Siglas en ingles de Mecanismo de Desarrollo Limpio

CER: Certificado de Reducción de Emisiones

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

DS: Desarrollo Sostenible

EOD: Entidad Operacional Designada

GEI: Gases de Efecto Invernadero

Hec: Hectárea

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

Incauca: Ingenio del Cauca S.A.

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

JE: Junta Ejecutiva

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio

ME: Mercado de Emisiones

OIE: Organismo Internacional de Energía

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PK: Protocolo de Kyoto

Tecnicaña: Técnicos de la Caña de Azúcar

Ton: Tonelada métrica

UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático

## **1. Justificación**

Teniendo en cuenta que de la agroindustria de la caña de azúcar dependen más de dos millones de colombianos y que esta agroindustria participa en diversos mercados; alimentos, combustibles, agrícolas y energéticos. Se considera de vital importancia establecer las implicaciones ambientales, sociales y económicas de la participación de las empresas del este sector, en el mercado de los bonos de carbono e identificar sus aportes al desarrollo sostenible del país.

De allí la necesidad de participar de las estrategias de mitigación y hacer parte de compromisos establecidos para frenar el cambio climático y aunar esfuerzos que lleven al desarrollo sostenible del País. Es de esta forma que las empresas agroindustriales de la caña de azúcar se involucran en la ejecución de Proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Para la elaboración del presente proyecto se requiere de la recolección de datos históricos a lo largo de diez años, los cuales serán analizados y discutidos, por medio de matrices. De allí la necesidad de contar con un equipo de trabajo compuesto al menos por dos personas, entre quienes se distribuirán los datos cualitativos y cuantitativos.

## **2. Objetivos**

### **2.1 General**

Identificar y analizar las implicaciones ambientales y económicas asociadas al comercio de carbono en Colombia, teniendo como referente la agroindustria de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia.

### **2.2 Específicos**

- Identificar los requisitos y factibilidad para que una empresa colombiana del sector agroindustrial de la caña de azúcar acceda a la ejecución de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio (MDL).
- Analizar parámetros ambientales y socio-económicos del proceso de participación de una empresa colombiana de la agroindustria de la caña de azúcar en el mercado de carbono.

### **3 Marco de Referencia**

#### **3.1 Marco Teórico**

##### **3.1.1.1 Emisiones de Carbono**

La contribución del carbón al incremento del efecto invernadero producido por el CO<sub>2</sub> es del orden del 20%; del cual la mitad proviene de la generación de energía. Las emisiones de CO<sub>2</sub> están asociadas en términos generales al uso de combustibles fósiles. Si se analizan las emisiones de CO<sub>2</sub> en ambos hemisferios, queda claro que los países del hemisferio norte son los principales responsables del aumento de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Así en Europa el valor per cápita es mucho mayor (10,5 ton) que la mayoría de los países en desarrollo (2 ton). Por ejemplo en el 2000, todo el continente Africano emitió menos CO<sub>2</sub> que solo Alemania. (Danus& Vera 2010).

Datos de la US Energy Energy Information indican que Chile es el único país en Latinoamérica que redujo sus emisiones de CO<sub>2</sub>, entre 2006 y 2007, con una baja del 7,2%. Mientras Estados Unidos aumentó sus emisiones en 1,4%, China en un 7% y Australia en un 9,2% durante el mismo periodo. En tanto, otros países como Venezuela crecieron en 14,2%, Argentina en un 5,9% y Brasil en un 3,7%.(Danus& Vera 2010).

##### **3.1.1.2 Cambio Climático**

En las últimas décadas se ha incrementado la evidencia de que la tierra está experimentando un cambio en temperatura global promedio, que se manifiesta en el aumento de las temperaturas superficiales de la tierra, de los océanos, al igual

que del sistema combinado tierra-océanos. Tomando como nivel de referencia el año 2005 el incremento de la temperatura global anual promedio para las superficies del sistema combinado océano-tierra fue de 0,58 °C; por encima del valor promedio del lapso 1880-2004, que es de 13.9 °C.(Gutiérrez & Gutiérrez, 2009)

De acuerdo al cuarto informe de las Naciones Unidas sobre el clima, de febrero 2 de 2007 y último informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), organismo científico adscrito al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en este informe se pone de manifiesto que la temperatura de la tierra subirá entre 1,8 y 4°C.

De acuerdo con información publicada por el Banco Mundial en el año 2014, Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no han disminuido, el calentamiento actual es de 0,8 °C por encima de los niveles preindustriales. Las emisiones de CO<sub>2</sub> son un 60% más elevadas que las de 1990 y aumentan a un ritmo de 2,5% al año. Si continúa este avance, en tan solo tres décadas se excederían las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> consideradas aceptables con el fin delimitar el calentamiento a 2°C.

Los amplios impactos observados recientemente en sistemas naturales y humanos confirman la elevada sensibilidad de muchos de estos sistemas ante el aumento de temperatura y la posibilidad de que se produzcan daños considerables, incluso con bajos niveles de calentamiento. Algunos ejemplos son los impactos negativos en las cosechas, el aceleramiento del deshielo de Antártida y Groenlandia, y el blanqueamiento generalizado de los arrecifes de coral. Los efectos físicos de un calentamiento de 1,5°C, como por ejemplo olas de calor, pueden ser inevitables. (Grupo Banco Mundial, 2014)

Los impactos previstos para el siglo XXI confirman la magnitud del riesgo para el desarrollo de un calentamiento de 2 °C, y las graves consecuencias de superar

este nivel. Incluso con un calentamiento de 1,5°C a 2°C, se prevén riesgos adversos considerables en distintas regiones y sistemas, como la posibilidad de que se pierdan completamente los arrecifes de coral, la biodiversidad marina asociada y los medios de subsistencia provenientes del turismo y la pesca. (Grupo Banco Mundial, 2014)

Cada vez existen más pruebas científicas sobre las consecuencias de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero en siglos posteriores al siglo XXI. Estos son algunos ejemplos: un aumento permanente del nivel del mar a largo plazo, de unos dos metros por cada grado centígrado de calentamiento medio global sostenido, y una acidificación del océano durante varios siglos con amplias consecuencias adversas en los arrecifes de coral, la ecología marina y, en definitiva, todo el planeta. (Grupo Banco Mundial, 2014)

Los cambios irreversibles y de gran escala en los sistemas del planeta tienen la capacidad de transformar regiones enteras. Algunos ejemplos de riesgos que están aumentando rápidamente con el calentamiento son la degradación de la selva tropical amazónica, con el potencial de emitir grandes cantidades de CO<sub>2</sub> debido al círculo vicioso que se genera; con el aumento asociado del nivel del mar (varios metros) durante siglos o milenios, y la liberación a gran escala de metano a partir del derretimiento del permafrost, lo que amplificaría el calentamiento considerablemente. Publicaciones científicas recientes demuestran que una parte considerable del manto de hielo de la Antártida occidental, que contiene cerca de un metro de aumento del nivel del mar equivalente en hielo, ya se encuentra en una etapa de retracción inestable e irreversible. (Grupo Banco Mundial, 2014)

De acuerdo con el informe<sup>1</sup> que revela posibles impactos del cambio climático en Colombia, la temperatura promedio de Colombia podría aumentar en más de 2

---

<http://www.un.org/climatechange/es/blog/2015/04/el-pnud-estudia-el-posible-impacto-del-cambio-climatico-en-colombia/><sup>1</sup>



grados centígrados para el año 2100 si continúan creciendo las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, advierte un estudio sobre los nuevos escenarios del cambio climático para ese país. El documento también afirma que Colombia sufrirá los efectos del calentamiento global y que el 31% de su territorio podría verse afectado por una disminución de las precipitaciones en los próximos 25 años, mientras que otras 10 millones de hectáreas podrían ser propensas a inundaciones.

### **3.1.1.3 Medidas Mundiales para disminuir el Cambio Climático**

En 1988, dos organismos de las Naciones Unidas, la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente se preocuparon ante la posibilidad del cambio climático. Fundaron el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC), conocido con el acrónimo en inglés IPCC, que se encargaba y se encarga de evaluar las pruebas científicas del cambio climático examinando la literatura técnica que trata sobre la evaluación por pares. El GIECC también pretende ofrecer información y consejo a los legisladores, entre otros, preocupados por el cambio climático. El GIECC está compuesto por tres grupos: uno se encarga de la base física del cambio climático, otro de los diferentes posibles o probables impactos del cambio climático y el tercero de las estrategias de mitigación. El GIECC también dispone de un destacamento especial que se encarga del inventario de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Garvey, 2012)

En respuesta a esta alerta surge el Protocolo de Kyoto, como principal instrumento internacional para enfrentar el cambio climático, buscando entre sus objetivos la reducción de seis gases de efecto invernadero; presenta estrategias enfocadas a la reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal causa del cambio climático del planeta.

Para entrar en contexto, sobre las medidas adoptadas referentes al cambio climático, Garvey, 2012, dice que pueden agruparse como medidas reguladoras, medidas fiscales, instrumentos basados en el mercado o acuerdos voluntarios. Para la presente investigación se tomarán los instrumentos basados en el mercado como es el caso de los proyectos MDL, que hacen parte de los mecanismos implementados en el protocolo de Kyoto. A continuación una breve reseña del mencionado protocolo.

#### **3.1.1.4 Protocolo de Kyoto**

El protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, se originó en el año de 1992, se establecen los lineamientos y compromisos de los países industrializados con el fin de promover el desarrollo sostenible de los países implicados a través de la elaboración de políticas y la implementación de estrategias que permitan una reducción emisiones expresadas en dióxido de carbono equivalente de los gases de efecto invernadero, partiendo del valor de referencia del año 1990 de por lo menos el 5% durante el periodo 2008-2012.

Los países firmantes del protocolo fueron 84, ya en el año 2002 la Unión Europea ratifico el protocolo de Kyoto, que entro en vigor en el año 2005, al contar con la representación de 55 países que representan el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre los compromisos adquiridos por las partes, en el artículo 2 del inciso a) apartado v), se tiene que la política de:

“reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones

que sean objeto de la Convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y la aplicación de instrumentos de mercado.”

Del artículo 3; párrafo 13 y 14: “13. Si en un periodo de compromiso las emisiones de una parte incluido en el anexo I son inferiores a la cantidad atribuida a ella en virtud del presente artículo, la diferencia se agregará, a petición de esa parte, a la cantidad que se atribuya a esa parte para futuros periodos de compromiso.”

“14. Cada parte incluida en el anexo I se empeñará en cumplir los compromisos señalados en el párrafo 1 supra de manera que se reduzcan al mínimo las repercusiones sociales, ambientales y económicas adversas para las partes que son países en desarrollo, en particular las mencionadas en los párrafos 8 y 9<sup>2</sup> del artículo 4 de la Convención. En consonancia con las decisiones pertinentes de la conferencia de las partes sobre la aplicación de esos párrafos, la Conferencia de las partes en calidad de reunión de las partes en el presente protocolo estudiará en su primer periodo de sesiones las medidas que sea necesario tomar para reducir al mínimo los efectos adversos del cambio climático y/o el impacto de la aplicación de medidas de respuesta para las partes mencionadas en esos

---

<sup>2</sup> Párrafo 8 del artículo 4 de la Convención: Al llevar a la práctica los compromisos a que se refiere este artículo, las partes estudiarán a fondo las medidas que sea necesario tomar en virtud de la Convención, inclusive medidas relacionadas con la financiación, los seguros y la transferencia de tecnología, para atender a las necesidades y preocupaciones específicas de las partes que son países en desarrollo derivadas de los efectos adversos del cambio climático o del impacto de la aplicación de medidas de respuesta, en especial de los países siguientes: a) países insulares pequeños, b) los países con zonas costeras bajas, c) los países con zonas áridas y semiáridas, zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; d) los países con zonas propensas a los desastres naturales; e) los países con zonas expuestas a la sequía y a la desertificación; f) los países con zonas de alta contaminación atmosférica urbana; g) los países con zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los ecosistemas montañosos; h) los países cuyas economías dependen en gran medida de los ingresos generados por la producción, el procesamiento y la exportación de combustibles fósiles y productos asociados de energía intensiva, o de su consumo; i) los países sin litoral y los países de tránsito. Párrafo 9: Las partes tomarán plenamente en cuenta las necesidades específicas y las situaciones especiales de los países menos adelantados al adoptar medidas con respecto a la financiación y a la transferencia de tecnología.

párrafos. Entre otras, se estudiarán cuestiones como la financiación, los seguros y la transferencia de tecnología.

Para dar cumplimiento a los compromisos adquiridos en el protocolo de Kyoto, los países, tienen la posibilidad de comprar o vender una parte de sus emisiones, de este modo aquellos países que alcanzan una reducción por debajo de lo pactado, estarán en posibilidad de vender sus créditos para emisiones a otros países que no han alcanzado cumplir sus compromisos.

También existen otros mecanismos enfocados a lograr los objetivos del protocolo, tales como; la aplicación conjunta, regulando proyectos de cooperación entre países obligados a reducir sus emisiones. Además están los mecanismos de desarrollo limpio; con esta iniciativa los países comprometidos en compensar emisiones cooperan en proyectos MDL realizados en países sin compromisos de reducción, comúnmente en países en vías de desarrollo, compensando así las emisiones equivalentes. (Naciones Unidas, 1998)

### **3.1.1.5 Instrumentos Basados en el Mercado**

En las negociaciones sobre el clima, el Protocolo de Kyoto propició el esquema de mercado más desarrollado en el mundo, que incluye los mecanismos de desarrollo limpio y de implementación conjunta. (Avendaño & Rodríguez, 2012). Con estos esquemas se abrió la posibilidad de comercio de carbono entre países desarrollados (países con compromisos de reducción de emisiones) y países en desarrollo (sin compromisos de reducción).

Hernández & Del Rio 2007, definen los elementos básicos de un mercado de emisiones (ME) son los derechos (también llamados permisos, cuotas o cotas) de emisión, que en esencia equivalen a concesiones para emitir un volumen limitado de GEI, pero que no otorgan ningún derecho de propiedad. Su compra, venta,

depósito (banking) y préstamo (borrowing) constituyen las actividades esenciales del ME. Cada país participante en este procedimiento de mercado dispone de una cantidad de derechos, cuyas unidades de las cantidades asignadas (UCAs) representan los elementos circulantes del mercado. Como las monedas convencionales, las UCAs mantienen la función de elemento de intercambio, pero además cumplen con otra adicional no contemplada en los mercados habituales. Esta función se basa en que la cifra global de derechos representa la garantía del cumplimiento de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para que las emisiones no superen esta cifra se precisa contar con un instrumento de penalización que garantice la eficacia del funcionamiento del ME como sistema de regulación de emisiones. Se trata de una tarifa fija, de mayor magnitud que el precio total de los permisos usados pero no autorizados, que actúa cuando resulta necesario como medida disuasoria en los casos de incumplimiento.

Entre estas estrategias se encuentra el mecanismo de desarrollo limpio (MDL), por medio de este mecanismo Colombia (país que no tiene compromisos de reducción de CO<sub>2</sub>) puede participar en el comercio internacional de bonos de carbono. Desde el año 2002 Colombia participa del mercado de dióxido de carbono y según reporte de la ONU en el año 2011, alcanzo el cuarto puesto en Latinoamérica en número de proyectos registrados.

#### **3.1.1.6 Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**

Según el artículo 12.2 del PK “el propósito del MDL será el de ayudar a las Partes no incluidas en el Anexo I a lograr el DS (...) y ayudar a las Partes incluidas en el Anexo I a lograr el cumplimiento con sus (...) compromisos de reducción”. Por su parte el art. 12.3 del PK establece que “bajo el MDL a) las Partes no incluidas en el Anexo I se beneficiarán de las actividades de proyectos que den lugar a Reducciones Certificadas de Emisiones RCEs. B) Las Partes incluidas en el

Anexo I pueden utilizar las RCEs procedentes de esos proyectos para contribuir al cumplimiento parcial de sus compromisos de reducción del artículo. 3". Es decir, el MDL permite que un país del Anexo I o una entidad legal o empresa autorizada por un país invierta en proyectos de reducción de emisiones en países no-Anexo I (países menos desarrollados), contribuyendo al DS de estos últimos. A cambio obtiene créditos de emisiones denominados RCEs, que los países del Anexo I o sus empresas pueden utilizar para cumplir con sus compromisos de Kyoto. (UNFCCC, 2015)

Los proyectos MDL tienen que "generar reducción de emisiones que sean adicionales a las que hubieran tenido lugar en ausencia del proyecto" (COP7, art. 12, sección G, pr. 43). Según el Informe anual de la Junta Ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio a la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto, para el año 2014 después de 13 años de funcionamiento del MDL, se han registrado 7828 proyectos en 108 países y en cuanto a las reducciones de emisiones se han expedido 1493 millones de reducciones certificadas de las emisiones (RCE). (Naciones Unidas, 2014)

El MDL permite que los proyectos de reducción de emisiones en los países en desarrollo obtengan la reducción de emisiones certificadas (CER), cada uno equivalente a una tonelada de CO<sub>2</sub>. Estos CERs pueden ser negociados, vendidos y utilizados por los países industrializados para cumplir con sus objetivos de reducción de emisiones bajo el Protocolo de Kyoto. (UNFCCC, 2015)

Con estas transacciones se espera que los países en desarrollo, a través de la ejecución de los proyectos obtengan tecnologías y productos que les conduzca al desarrollo sostenible, y como se ha mencionado antes, los países desarrollados logran cumplir con sus compromisos de reducciones. Por otra parte El MDL es la principal fuente de ingresos para el Fondo de Adaptación de la CMNUCC, que se creó para financiar proyectos y programas de adaptación en los países partes en el Protocolo de Kyoto que son particularmente vulnerables a los efectos adversos

del cambio climático. De acuerdo con información del UNFCCC (2015) el fondo de adaptación se financia con un impuesto del 2% sobre RCE expedidas por el MDL. En la actualidad se han registrado 7665 proyectos, 1.616.342.405 RCE expedidas para las actividades del proyecto y 3.389.765 RCE expedidas por el Programa de Actividades.

El MDL regula las inversiones que uno o varios países incluidos en el anexo I realizan en un país no incluido en dicho anexo en proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono. El país anexo I, o país inversor, recibe a cambio los créditos de reducciones certificadas de emisiones del proyecto, que le permiten alcanzar con mayor facilidad los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto. El Mecanismo de Desarrollo Limpio tiene tres objetivos principales: (1) Ayudar a los países del anexo I a alcanzar sus compromisos de reducción y limitación de emisiones a través de las reducciones certificadas de emisiones; (2) que los países no incluidos en el anexo I reciban inversiones en proyectos basados en tecnologías limpias; (3) contribuir a lograr el objetivo de estabilización de emisiones de efecto invernadero. (Romeo et al 2010).

#### **3.1.1.7 Principales Características del MDL**

Romeo et al (2010), describe las particularidades en relación con el MDL; Existen tres tipos de organismos que intervienen en el Mecanismo de Desarrollo Limpio: la Junta Ejecutiva (JE), las Autoridades Nacionales Designadas (AND) y las Entidades Operacionales Designadas (EOD). La Junta Ejecutiva se encarga de supervisar el mecanismo, siendo la responsable última ante los países firmantes del Protocolo de Kioto. Este órgano es el único con competencia para registrar y certificar un proyecto.

Los proyectos del MDL se dividen en dos grandes fases: diseño y operación. La primera se refiere a los pasos previos a la ejecución del proyecto y la segunda a los procesos que se deben realizar durante la misma. La fase de diseño comprende el diseño del proyecto y los procesos de registro y validación. La fase de operación está compuesta por el seguimiento, la verificación y certificación y la expedición.

Tanto el proyecto como los países inversores y el receptor deben cumplir una serie de requisitos. El cumplimiento de estos permite optar a la ejecución de un MDL, siendo condición necesaria pero no suficiente. Durante el diseño del proyecto, la Autoridad Nacional Designada de cada país debe comprobar el cumplimiento de dichos requisitos. Además, la del país receptor deberá, a su vez, confirmar la contribución del proyecto al desarrollo sostenible de la región. Los requisitos de los proyectos son los siguientes:

- Deben tener como objeto la reducción de las emisiones de alguno o varios gases a los que hace referencia el Protocolo de Kyoto.
- La reducción de emisiones debe tener su origen en el proyecto y ha de ser adicional a las que se producirían en su ausencia.
- Las reducciones deben ser mensurables
- No puede suponer un impacto ambiental negativo para el país receptor
- Se debe asegurar la transferencia de tecnología y conocimientos en materia ambiental.
- Si un proyecto está financiado con recursos públicos procedentes de un país del anexo I, se debe declarar que dicha financiación no es una desviación de los capítulos de ayuda oficial al desarrollo.
- Los proyectos de energía nuclear no están permitidos
- Los países tienen como requisitos la participación voluntaria y la obligación de designar una autoridad nacional para el mecanismo de desarrollo limpio. Además, el país receptor debe haber ratificado el



Protocolo de Kyoto. Un país que no lo haya hecho, podrá ser inversor pero no podrá hacer uso de las reducciones certificadas de emisiones.

- Durante la operación del proyecto, los participantes deben realizar un seguimiento aplicando el correspondiente plan de monitorización que se elabora de acuerdo con una metodología aprobada por la Junta Ejecutiva, así como realizar el informe de seguimiento.

Debido a los elevados costes de transacción que acarrea llevar a cabo un proyecto MDL, se elaboran modalidades y procedimientos simplificados para proyectos de pequeña escala, estos deben ser independientes de manera que en ningún caso puedan formar parte de otro mayor. Actualmente más del 40% de los proyectos registrados son de este tipo. (Romeo, et al 2010).

#### **3.1.1.8 Retos que Afronta el Mecanismo para un Desarrollo Limpio**

Globalmente, el MDL se caracterizó por un período de crecimiento impresionante de 2006 a 2012, al que siguió una drástica disminución. En general, hay acuerdo en que las principales causas de esta disminución no radican en el propio mecanismo, sino en las restricciones impuestas por algunos compradores a la cantidad, el tipo y el origen de las RCE, la recesión económica y, en última instancia, el nivel de ambición de las Partes en la Convención que son también Partes en el Protocolo de Kyoto con compromisos consignados en el anexo B de dicho Protocolo en lo que respecta a la lucha contra el cambio climático. Todos estos factores hacen que los precios de las RCE sean ahora solo una fracción de lo que eran hace varios años.

Con los bajos precios actuales, los proyectos están ya sea retrasando la expedición o, en el peor de los casos, poniendo fin a sus operaciones. Aproximadamente la mitad de las actividades de proyectos que antes expedían

RCE no han comunicado con la Junta en los últimos 24 meses. Se prevé además que, para el final de 2020, aproximadamente el 70% de los proyectos habrán llegado al término de sus períodos de acreditación, y alrededor de la mitad de ellos tendrán derecho a renovarlos. (Naciones unidas 2014).

### 3.2 Marco Normativo Colombiano Ambiental

Cuadro 1. Marco Normativo

Norma	Descripción
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales (CNRN) y la protección del medio Ambiente
Ley 99 del 1993	<p>Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.</p> <p>De esta ley se extraen los siguientes artículos que tienen relación directa con el comercio internacional de CO<sub>2</sub>.</p> <p>Artículo 1; punto 1: El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.</p> <p>Artículo 1; punto 7: El estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración</p>

	<p>del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.</p> <p>Artículo 3: Del Concepto de Desarrollo Sostenible. Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.</p> <p>Artículo 42: Tasas Retributivas y Compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.</p>
Ley 164 de 1994	<p>Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992. El Congreso de la República de Colombia aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, cuyo objetivo es la estabilización de concentraciones de gases efecto invernadero-GEI en la atmósfera, a un nivel que impida</p>

	interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.
Decreto 2107 de 1995	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
Resolución 909 del 20 de agosto de 1996	Por la cual se modifica parcialmente la Res. 005 de 1996 que reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 1697 del 27 de junio de 1997	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995, que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire. (Aspectos sobre combustibles)
Resolución 0619 del 7 de julio de 1997.	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión para fuentes fijas.
Resolución dg 048 del 11 de febrero de 1998 de CVC	Por la cual se expide un permiso colectivo de emisiones por quemas de caña y se imponen unas condiciones.
Resolución 0005 de enero 15 de 1999 de la CRC	Por la cual se expide un permiso colectivo de emisiones por quemas de caña y se imponen unas condiciones.
Ley 629 de 2000	(Diciembre 27 de 2000); Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997
Decreto 1552 de	Por el cual se modifica el artículo 38 del Decreto 948 de

2000	1995, modificado por el artículo 3o del Decreto 2107 de 1995.
Resolución dg 044 de febrero 2 de 2000 de la CVC	Por medio de la cual se establece la metodología para calcular el monto de las multas por infracciones a las normas ambientales por vertimientos líquidos y emisiones por quemas de caña de azúcar.
Resolución dg 102 de marzo 2 de 2000 de la CVC	Por medio de la cual se modifica parcialmente la resolución dg 048 del 11 de febrero de 1998
Resolución 0068 de enero 18 de 2001 del ministerio del medio ambiente	Por la cual se modifica parcialmente la res. 898/95, adicionada por la res. 125/96 y modificada por la res. 623/98, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores
Resolución 0325 de mayo 11 de 2001 de la CRC	Por la cual se renueva un permiso colectivo de emisiones por quemas de caña y se imponen unas obligaciones
Ley 693 de septiembre 19 de 2001 del Congreso de Colombia	Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones.
Documento Conpes 3242 del 25 de agosto de 2003;	para la "Estrategia Institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático", recomendó solicitar al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial la expedición de los criterios y el procedimiento de aprobación nacional de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL; Que durante la XX Sesión del Consejo Nacional Ambiental, realizada el 29 de

	<p>agosto de 2003, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial presentó el documento de "Principios, requisitos y criterios y Procedimientos para la aprobación nacional de Proyectos de Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio". En esta sesión, se aprobó la creación de un Comité Intersectorial de Mitigación de Cambio Climático, el cual deberá constituirse en una instancia consultiva dentro de la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL.</p>
<p>Resolución 0453 de 2004</p>	<p>del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial;</p> <p>Por la cual se adoptan los principios, requisitos y criterios y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL.</p> <p>Artículo 1: Definiciones y acrónimos. Para la interpretación y aplicación de los artículos contenidos en la presente resolución, se adoptan las siguientes definiciones y acrónimos:</p> <p>Aprobación. Se refiere a la aprobación nacional de Proyectos que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL, de acuerdo con lo señalado en la Decisión 17 de la Séptima Conferencia de la Partes de la CMNUCC-COP 7,</p>

	<p>en calidad de Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto.</p> <p>AND. Autoridad Nacional Designada de acuerdo con lo señalado en la Decisión 17 de la Séptima Conferencia de las Partes de la CMNUCC-COP 7, en calidad de Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto. Para el caso de Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial es la autoridad designada, de acuerdo con la nota consular del 22 de mayo de 2002, radicada DM/VAM/CAA 19335 del Ministerio de Relaciones Exteriores.</p> <p>Artículo 2º. Facultad del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial como Autoridad Nacional Designada para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Conforme a la Decisión 17 de la Séptima Conferencia de la Partes de la CMNUCC-COP 7, en calidad de Reunión de las Partes, corresponde a la Autoridad Nacional Designada aprobar los proyectos que optan al MDL, en función de la participación voluntaria del país en este Mecanismo y de la contribución del proyecto al desarrollo sostenible del país anfitrión del mismo, en este caso, de Colombia...</p>
Resolución 532 de 2005	<p>“Por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas” • Abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras Distancias mínimas de protección para la práctica de quemas abiertas controladas en áreas rurales para la preparación del suelo en actividades agrícolas</p>
Decreto 979 de	<p>Por el cual se modifican los artículos 7º, 10, 93, 94 y 108</p>

2006	del Decreto 948 de 1995
Resolución 0187 de 2007	(Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) Prohibición de quemas abiertas controladas.
Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones
Resolución 910 de 2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones
Resolución 610 de 2010	Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. Mediciones de Calidad del Aire por las Autoridades Ambientales
Resolución 2733 de 2010	(Diciembre 29 de 2010) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país, se establece el procedimiento para la aprobación nacional de programas de actividades (PoA- por sus siglas en inglés) bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y se reglamenta la autorización de las entidades coordinadoras.
Ley 1715 de 2014 (Mayo 13 de 2014)	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema



	Energético Nacional, le corresponde al Ministerio de Minas y Energía propender por un desarrollo bajo en carbono del sector energético a partir de la eficiencia energética.
Resolución 9 1304 de 2014	del Ministerio de Minas y Energía (Noviembre 25 de 2014); Por la cual se adopta el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema interconectado Nacional para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

#### 4 Metodología

Para obtener la información que se procesa y analiza en el presente trabajo investigativo, se realizó una búsqueda sistemática en centros de información de instituciones públicas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, Banco Mundial, Organización Mundial de Naciones Unidas), y privadas (Cenicaña, Asocaña, Tecnicaña), también se contó con información suministrada por empresas del sector agroindustrial de la caña de azúcar. Entre otras fuentes de información bibliográfica.

Se identificaran los requisitos y la factibilidad para la participación de las agroindustrias en proyectos MDL, posteriormente se analizaran sus implicaciones ambientales y económicas, a través del análisis de parámetros ambientales y económicos relacionados con el comercio de bonos de carbono, así:

Cuadro 2. Variables a estudiar

Aspecto	Variable / parámetros	Metodología
Ambiental	Gases de Efecto Invernadero (dióxido de carbono CO <sub>2</sub> )	Con la información de la cantidad de caña molida y con los valores de referencia de emisión de CO <sub>2</sub> para cada combustible, se establecerán las emisiones (ton) generadas durante los últimos diez años.
	Captura de CO <sub>2</sub>	Con la información de la plantación de caña de azúcar en Colombia y con el valor de referencia de captura tomado de bibliografía, se obtendrá la captura de CO <sub>2</sub>
	Eficiencia Energética	Con la información recolectada de la producción de vapor y la energía generada, en relación con la caña molida y la energía vendida, durante los últimos diez años.
Económicos	Costos para la participación en proyectos MDL	De acuerdo con los requisitos para la participación en proyectos MDL se establecerán los costos y su factibilidad.
	Valor de Bonos de carbono CERs	Establecer el valor de los bonos de carbono y la retribución económica de la participación en proyectos MDL

	Retribución económica de la participación en proyectos MDL	A través del estudio de caso de una empresa del sector agroindustrial de la caña de azúcar se identificarán las retribuciones económicas de la ejecución de proyectos MDL
--	--	---

Las emisiones de interés del presente trabajo están relacionadas con el proceso de fábrica del sector caña de azúcar, específicamente se analizarán las emisiones de CO<sub>2</sub>. Siendo estas las que están directamente relacionadas con el comercio de bonos de carbono y la participación de la agroindustria de la caña de azúcar en proyectos MDL.

Primero se realizará el análisis de información general (anual) de la molienda de caña de azúcar, emisiones de CO<sub>2</sub> y captura de CO<sub>2</sub> del sector agroindustrial de la caña de azúcar en Colombia. Y seguidamente se tomará una empresa del sector que ha participado en la ejecución de proyectos MDL, para hacer el mismo análisis.

#### **4.1 Factores de Emisión de CO<sub>2</sub>**

Para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> en los procesos de fábrica en la agroindustria de la caña de azúcar, se halló el factor de emisión de CO<sub>2</sub> de los dos tipos de combustibles más usados (carbón y bagazo) en el proceso, desarrollando las siguientes ecuaciones, a partir de las reacciones del carbono en la combustión, considerando que todo el carbono reacciona como CO<sub>2</sub>

#### 4.1.1 Factor de Emisión del combustible carbón

**Tabla 1** Análisis primario combustible carbón

Carbón - base húmeda	kg / kg carbón	Peso molecular (kg/kmol)
Humedad - H <sub>2</sub> O	0,0768	18,015
Cenizas	0,2137	
Oxígeno - O <sub>2</sub>	0,0546	31,999
Carbono - C	0,5909	12,011
Hidrógeno - H <sub>2</sub>	0,0359	2,016
Nitrógeno - N <sub>2</sub>	0,0115	28,013
Azúfre - S	0,0166	32,066
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>	

Fuente: Las autoras

$$kmolC = \frac{M_C}{PM_C} = \frac{0,5909 \frac{kg}{kg} carbón}{12,011 \frac{kg}{kmol}} = 0,04919 \frac{kg}{kmol}$$

$$factor\ emisión\ CO_2 = kmol\ C \times PM\ CO_2 = 0,04919 \frac{kg}{kmol} \times 44,01 \frac{kg}{kmol} = 2,1648$$

#### 4.1.2 Factor de Emisión del combustible Bagazo

**Tabla 2** Análisis primario del combustible Bagazo

Bagazo - base húmeda	kg / kg Bzo	Peso molecular (kg/kmol)
Humedad - H <sub>2</sub> O	0,5006	18,015
Cenizas	0,0540	
Oxígeno - O <sub>2</sub>	0,2010	31,999
Carbono - C	0,2189	12,011
Hidrógeno - H <sub>2</sub>	0,0230	2,016
Nitrógeno - N <sub>2</sub>	0,0020	28,013
Azúfre - S	0,0005	32,066
<b>Total</b>	<b>1,0000</b>	

Fuente: Las autoras

$$kmolC = \frac{M C}{PM C} = \frac{0,2189 \frac{kg}{kg} carbón}{12,011 kg/kmol} = 0,01822 kg/kmol$$

$$factor\ emisión\ CO_2 = kmol\ C \times PM\ CO_2 = 0,01822 \frac{kg}{kmol} \times 44,01 \frac{kg}{kmol} = 0,8020$$

## 4.2 Breve Reseña del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. En esta región hay 225.560 hectáreas sembradas en caña para azúcar, de las cuales, el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y el restante 75% a más de 2.750 cultivadores de caña. Dichos cultivadores abastecen a 13 ingenios de la región (Cabaña, Carmelita, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Risaralda, San Carlos, Tumaco, Ríopaila-Castilla, Incauca y Providencia). Desde 2005, cinco de los trece ingenios tienen destilerías anexas para la producción de alcohol carburante (Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda). (Asocaña, 2014)

Gracias al clima privilegiado de la región, y al contrario de lo que sucede en el resto del mundo (con excepción de Hawaii y el norte de Perú), se puede sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año. Esta condición agroclimática, sumada al avance tecnológico impulsado por el Centro de Investigación de la Caña (Cenicaña), que funciona con el aporte de todos los cultivadores e ingenios, ha llevado a que la región se especialice en el cultivo y ostente el liderazgo en productividad a nivel mundial: más de 14 toneladas de azúcar por hectárea al año. (Asocaña, 2014)

En Colombia, en el año 2013 se produjeron 2,12 millones de toneladas de azúcar a partir de 21,56 millones de toneladas de caña. De alcohol carburante se produjeron 387 millones de litros, destinados a la mezcla con gasolina en una proporción E8 (8% etanol, 92% gasolina), de acuerdo con el mandato de oxigenación establecido por el gobierno desde noviembre de 2005. En la actualidad se da cubrimiento a todo el territorio nacional.

El consumo nacional de azúcar en Colombia fue de 1,69 millones de toneladas, destinado en un 52% al consumo directo en los hogares y un 48% a la fabricación de productos alimenticios, bebidas para consumo humano y otros productos industriales. En el año 2013 se exportaron 671 mil toneladas de azúcar, de las cuales el 66% se dirigió a Chile, Islas del Caribe, Perú, Estados Unidos, Haití, México y Bolivia. El resto del azúcar se exportó hacia múltiples destinos alrededor del mundo. (Asocaña, 2014).

### **4.3 Proceso de Fábrica en Ingenios Azucareros**

De acuerdo con información publicada por el Ingenio del Cauca, el proceso de la caña de azúcar, se divide en 11 pasos que dan como resultado productos alimenticios, alcohol carburante y energía eléctrica, además de algunos desechos orgánicos (que se llevan a otros procesos para la producción de abonos).

Patios de Caña: La fábrica inicia su trabajo con el proceso de muestreo de la caña que viene del campo, para medir la calidad y con esto hacer los estimativos del azúcar que se puede obtener. Una vez efectuada la muestra, los vehículos transportadores pasan por básculas electrónicas de pesado y posteriormente son descargados en las mesas lavadoras. (Incauca 2015)

**Preparación de Caña:** Se realiza una limpieza de la caña para eliminar gran parte de la materia extraña con la que llega del proceso. Las mesas lavadoras entregan la caña a conductores que la envían a dos tandems de molinos los cuales poseen desfibradoras que fraccionan la caña para romper la corteza y facilitar la extracción del jugo de los molinos. (Incauca 2015)

**Molienda:** Compuesto por seis molinos y cada molino se componen de cuatro mazas. Estas son cilindros de gran tamaño que se encargan de comprimir la caña para extraer el jugo. El residuo llamado bagazo va pasando de un molino a otro para extraer la mayor cantidad de jugo posible.

Al material que sale de cada molino se le adiciona jugo del molino inmediatamente siguiente, para lograr extraer la mayor cantidad de sacarosa de la caña. Antes que el bagazo pase por el último molino, se le agrega agua con el propósito de mejorar la extracción de jugo y sacarosa. El jugo extraído se hace pasar por sistemas de filtración que tienen mallas encargadas de separar la mayor cantidad de bagacillo del jugo, enviando el jugo crudo hacia el proceso y retornando el bagacillo a los molinos. (Incauca 2015)

**Generación de vapor y energía eléctrica:** El bagazo con bajo contenido de humedad que sale del último molino, es enviado a las calderas para ser utilizado como combustible en la generación de vapor. Parte del vapor vivo generado se utiliza en los turbogeneradores, que producen la energía eléctrica que requiere la fábrica y un excedente que es vendido a la red pública.

El vapor vivo restante, se emplea para el accionamiento de las turbinas de molinos, donde después de realizar su trabajo se expande y sale del proceso como vapor de escape, que se utiliza en los pre-evaporadores de jugo claro. (Incauca 2015)

**Sulfatación, pesaje y alcalización:** El jugo crudo se hace pasar por un sistema de sulfatación con el fin de evitar la producción de compuestos coloreados durante los

procesos siguientes. El azufre es quemado para producir dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) que se pone en contacto con el jugo por medio de eyectores. Posteriormente, el jugo pasa por las básculas para su pesaje, con el propósito de evaluar el rendimiento del proceso y la cantidad de jugo que resulta de la caña procesada. El jugo sulfitado se pre-encala con la adición de lechada de cal para evitar la inversión de sacarosa y se envía hacia un primer calentamiento para posteriormente realizarle la segunda alcalización. (Incauca 2015)

**Calentamiento y clarificación:** El jugo alcalizado pasa a la siguiente etapa de calentamiento para activar las reacciones entre la cal y los óxidos de fósforo presentes en el jugo y precipitar las impurezas orgánicas e inorgánicas en la clarificación posterior. Seguidamente el jugo es alimentado a un clarificador rápido de bajo tiempo de retención en el que las impurezas del jugo se precipitan por la acción de la gravedad. El proceso de clarificación, se ayuda con la adición de floculante que al entrar en contacto con el jugo retiene las impurezas y las precipita.

**Filtración:** Los lodos sedimentados en el clarificador, se conducen a la estación de filtros donde se les aplica agua caliente para extraerles el jugo azucarado que contienen. La filtración consiste en tomar lodos y adicionarle bagacillo (partícula fina de bagazo) para darle mayor consistencia y mejorar la filtrabilidad, procesarlos en los filtros que retiran la parte líquida, denominada jugo filtrado, quedando una torta seca llamada cachaza, que es enviada al proceso de compostaje para la producción de abonos orgánicos. El jugo filtrado es retornado al proceso de calentamiento de jugo para ser procesado en el clarificador rápido SRI. (Incauca 2015)

**Evaporación:** El jugo clarificado se bombea a un sistema de evaporación de quintuple efecto para eliminarle parte del agua que contiene. Por medio de vapor y el vacío, los evaporadores concentran el jugo desde 15 a 68° Brix, dando como resultado la meladura o jarabe. (Incauca 2015)



Clasificación de meladura: La meladura pasa por un proceso de sulfitación con el objetivo de remover color y posteriormente es enviada a la clarificación. Este es un proceso donde se le adiciona a la meladura ácido fosfórico, cal, pequeñas burbujas de aire micronizado y floculante para coagular y remover las impurezas. (Incauca 2015)

Cristalización de meladura: Para la cristalización de la sacarosa se utiliza un sistema de dos plantas. Las diferentes plantas se elaboran en tachos batch y uno continuo. (Incauca 2015)

Envase y almacenamiento: El azúcar seco y frío se lleva a tolvas que alimentan a las envasadoras de azúcar en las diferentes presentaciones con que se surten los mercados nacional e internacional. Una vez envasado el azúcar se lleva a las bodegas de producto donde se almacena y/o se carga en vehículos de carga, para su distribución. (Incauca 2015)

## **5 Requisitos y Factibilidad para la Participación de Empresas Colombianas Agroindustriales del Sector Caña de Azúcar en Proyectos MDL.**

### **5.1 Requisitos de Participación y Elegibilidad en los Proyectos MDL**

Para participar de proyectos MDL es necesario cumplir siete pasos, no importa al sector al que pertenezca la empresa, estos procesos son genéricos y tienen implícitos requisitos que deben ser ejecutados en su totalidad. A continuación se describe el ciclo MDL, según los establece UNFCCC:

### **5.1.1 Diseño del Proyecto**

Se deben cumplir los siguientes requisitos para completar el proceso pertinente al diseño del proyecto:

- Este se realiza en el formulario CDM-PDD que ha sido desarrollado por el consejo ejecutivo, allí se presenta la información del proyecto MDL, indicando las actividades que se desarrollaran, tecnología a utilizar, participantes, localización del proyecto y la explicación de la manera como se reducen o captura los GEI.
- Presentar la propuesta de la línea base y / o monitoreo: La nueva metodología de línea de base propuesta será presentada por la entidad operacional designada a la Junta Ejecutiva para su revisión y aprobación, antes de la validación y la solicitud de registro del proyecto.
- El uso de una metodología aprobada: Una metodología aprobada es una metodología previamente aprobada por el Consejo Ejecutivo y hecha pública junto con toda orientación pertinente. Cuando se utiliza una metodología aprobada, la entidad operacional designada podrá proceder a la validación de la actividad de proyecto MDL y presentar el CDM-PDD con una solicitud de registro.

### **5.1.2 Aprobación por Parte de la Autoridad Nacional**

Se requiere de una carta de la autoridad Nacional designada en el caso de Colombia, El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, indicando que el país ha ratificado el Protocolo de Kyoto, que la participación en el proyecto MDL es voluntaria y que dicho proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país.

### **5.1.3 Validación del Proyecto por la Entidad Designada**

El proyecto es validado por una entidad operacional (EOD) que se encarga de validar y verificar: El potencial del proyecto y evaluar si el proyecto cumple con todos los requisitos de elegibilidad del MDL, para posteriormente solicitar el registro a la JE. Entre los elementos que son validados se encuentran la construcción de la línea base, el diseño del plan de monitoreo, el trámite a los comentarios de los interesados y el análisis de los impactos ambientales. Igualmente, la EOD constará que el proyecto ha sido aprobado por la Autoridad Nacional Designada y confirmará el carácter adicional de las actividades del proyecto, es decir que las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero son superiores a las que tendrían lugar de no llevarse a cabo el proyecto.

### **5.1.4 Registro**

Solicitud de registro por parte de las EOD ante la Junta Ejecutiva, después de ser validado, se da la aceptación oficial del proyecto por parte de la JE, este es un requisito previo para la verificación certificación y emisión de CERs.

El reporte de validación debe contener el documento del proyecto, la explicación del trámite dado a los comentarios de los interesados durante el periodo de consulta al que tuvo que someterse el proyecto y las cartas de las Autoridades Nacionales Designadas de cada uno de los países participantes, manifestando la participación voluntaria en el proyecto y confirmando la contribución al desarrollo sostenible del país en donde se desarrollarán las actividades del proyecto. El registro se considera definitivo, de no existir objeción de alguna de las Partes participantes en el proyecto o de al menos tres de los diez miembros de la Junta Ejecutiva. (MADS, 2015).

### **5.1.5 Monitoreo**

El dueño del proyecto es responsable de hacer seguimiento a las emisiones reales, de acuerdo con la metodología aprobada para el proyecto MDL. El monitoreo o vigilancia consiste en la puesta en marcha del plan de seguimiento propuesto en el documento de proyecto. Durante el periodo de acreditación, el responsable del proyecto debe obtener y registrar permanentemente la información pertinente para determinar las reducciones de gases de efecto invernadero que el proyecto da a lugar durante su ejecución. El plan debe proveer los procedimientos para recopilar los datos que permitan determinar la línea base y estimar o medir las emisiones de las fuentes correspondientes al proyecto y de aquellas fuera de su frontera, pero que sean afectadas por el mismo (fugas). La ejecución del plan de monitoreo debe registrar y documentar la información mencionada y aplicar las medidas relevantes para asegurar la calidad del procedimiento. (MADS, 2015).

### **5.1.6 Verificación**

La EOD verifica que las reducción de emisiones este de acuerdo a la cantidad reclamada, según el plan de seguimiento aprobado. La verificación es la revisión y ex post determinación independiente de las reducciones observadas de las emisiones antropógenas por las fuentes de gases de efecto invernadero que se han producido como resultado de una actividad de proyecto MDL registrada durante el período de verificación. Seguidamente se da la certificación que es la garantía por escrito por la entidad operacional designada de que durante el período especificado, la actividad de proyecto consiguió las reducciones de las emisiones que se han verificado. Dicha revisión o verificación es realizada por una entidad operacional que puede o no ser la misma que efectuó con anterioridad la validación del proyecto.

La entidad operacional designada, sobre la base de su informe de verificación, certificará por escrito que, durante el período de tiempo especificado, la actividad de proyecto consiguió la cantidad verificada de las reducciones en las emisiones antropógenas por las fuentes de gases de efecto invernadero que no se habrían producido en ausencia de la actividad de proyecto MDL. Informará al proyecto los participantes, las Partes involucradas y el Ejecutivo Consejo de su decisión de certificación inmediatamente después de concluir el proceso de certificación y hacer que el informe de certificación a disposición del público. (Naciones Unidas 2006).

#### **5.1.7 Expedición de reducciones certificadas de las emisiones**

La entidad operacional remite el informe de certificación de las reducciones y capturas de gases de efecto invernadero a la Junta Ejecutiva, para que ésta proceda a expedir el Certificado de Reducción de Emisiones (CER). La expedición de los CER se hará efectiva si no existe objeción de alguna de las Partes participantes en el proyecto o de al menos tres miembros de la Junta Ejecutiva. Dichas CER constituyen el bien final que puede ser negociado por el responsable del proyecto con el fin de obtener recursos financieros adicionales. (MADS, 2015).

### **5.2 Antecedentes**

De acuerdo con el Informe anual de la Junta Ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio a la conferencia de las partes en calidad de reunión de las partes en el Protocolo de Kyoto del año 2014, se ha registrado una participación de América Latina y el Caribe del 17,2%, en programas MDL, en relación con la participación mundial. Un ejemplo de cómo se han utilizado el MDL para reducir las emisiones sobre el medio ambiente, se presentó en la Copa Mundial de Fútbol

de 2014, celebrada en el Brasil, que compensó sus emisiones mediante el uso de sus créditos de emisiones RCEs.

Caso homologo al de Colombia es estudiado por (Asrael, 2010) en el caso de México, que no tiene compromisos de reducción de emisiones obligatorio, analiza el mecanismo para un desarrollo limpio y los procesos necesarios para la acreditación de reducción de emisiones para su posterior comercialización. Concluyendo que los proyectos MDL en México están enfocados en el sector mayoritariamente emisor que es el sector energético, de donde provienen la mayor parte de emisiones colocadas. Identifica que los tiempos de registro, monitoreo y acreditación de reducción de GEI en el MDL, se ven afectados por procesos burocráticos con tiempos demasiado holgados que dificultan la promoción de este tipo de proyectos.

También del análisis del mercado de “Bonos de Carbono” observa que el precio de la reducción de emisiones es altamente variable, representando un alto riesgo a los proyectos, viendo afectada la sustentabilidad financiera de los mismos.

Por otra parte (Mendez & Perugache, 2012) analizan la causalidad y sensibilidad entre precios de los derechos de emisión europeos y los certificados de reducción de emisiones de mecanismos de desarrollo limpio en el mercado Europeo de transacción de emisiones; determinando la influencia de choques en el mercado del carbono sobre los precios de EUAs y CERs, los shocks en el mercado de los CER de MDL como mayores incentivos a la presentación de proyectos de MDL en los países en vías de desarrollo, por parte de sus mismos gobiernos, o cambios en los límites en la cantidad de CER de la Comunidad Europea, o en sus restricciones de aprobación, tienen un efecto casi nulo sobre la tasa de crecimiento del precio de Allowances UA, y por tanto, sobre el mismo nivel del precio.

### **5.3 Participación de Empresas Agroindustriales de Caña de Azúcar en Proyectos MDL**

De acuerdo con información consultada en la página web de Naciones Unidas Convención Marco Sobre el Cambio Climático, también conocida como UNFCCC por sus siglas en inglés<sup>3</sup>, al primer semestre del año 2015 se han registrado 65 proyectos MDL presentados por empresas colombianas de diversos sectores del mercado. En cuanto a proyectos MDL del sector agroindustrial de la caña de azúcar se ha identificado un proyecto, presentado por la empresa Incauca S.A., denominado “Incauca S. A. Fuel Switchfrom Coal to Green HarvestResidues CDM Project”

Dicho proyecto está registrado en dos ámbitos sectoriales; Energy industries (renewable - / non-renewablesources) y Manufacturing industries, en el primer sector se encuentran de los 65 proyectos MDL registrados de Colombia, 24 pertenecen al sector Energy industries y 4 proyectos a Manufacturing industries y como se había afirmado anteriormente solo un proyecto es del sector agroindustrial de la caña de azúcar.

### **5.4 Proyecto MDL Incauca S. A. Fuel Switch from Coal to Green Harvest Residues**

Este proyecto inicio desde el año 2004, y fue registrado el 16 de octubre de 2008, el periodo acreditado va desde el 15 de octubre de 2009 al 14 de octubre de 2016. Desde la fase de inicial del proyecto; identificación hasta la implementación del mismo transcurrieron cuatro años, en los cuales Incauca S.A. Estuvo realizando actividades enfocadas a cubrir los requisitos del proyecto MDL, la inversión inicial

---

<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html><sup>3</sup>

del proyecto fue de \$589.000.000, a continuación se hace una breve descripción del proyecto y sus principales características:

El Proyecto MDL es presentado por Incauca S.A., siendo Colombia el país receptor y como país inversor actúa Holanda, con la Corporación Andina de Fomento (CAF), que actúa como fiduciario para el Gobierno de los Países Bajos representada por su Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y el ambiente. Este proyecto pertenece a los sectores<sup>4</sup> 1-Industrias de energía (renovable - / fuentes no renovables) y 4-Industrias manufactureras, es un proyecto a larga escala y la metodología implementada es el cambio de combustible a partir de combustibles fósiles por residuos de biomasa en calderas de generación de calor. Espera obtener la reducción de 35.140 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente por año en los proceso de fábrica.<sup>5</sup>

#### **5.4.1 Descripción General del Proyecto**

Inversión en nuevas tecnologías para la utilización del barbecho (hoja de caña de azúcar que queda después de la cosecha) como combustible en las calderas para producir vapor, con el fin de reducir el consumo de carbón en la planta en una cantidad estimada de 14.000 toneladas por año, generando además nuevas oportunidades de empleo derivadas de la recolección de la hoja de caña.

Para la recolección del barbecho, al comienzo de la valoración del proyecto (año 2004) se plantearon tres alternativas; 1) La implementación de una máquina de recolección utilizado para otros fines de recolección de campo, 2) La incorporación

---

<sup>4</sup>Sectores determinados por CMNUCC

<sup>5</sup> La emisión de interés del proyecto MDL presentado es el CO<sub>2</sub>, de acuerdo con información consignada en el mismo, donde se expresa que de los GEI, el más representativo en la actividad es el CO<sub>2</sub>. (ver anexo 2).



de personal de la región través del desarrollo de un contexto social (creación de cooperativas) y 3) El uso de un tractor adaptado con un gancho hidráulico y vagones de recolección de caña de azúcar modificados.

Después de experimentar por dos años se ha determinado que todos los métodos descritos son viables dependiendo de las características de campo. Las cooperativas representan una buena alternativa para una operación de un radio máximo de 5 km del centro de almacenamiento y proporcionar trabajo a la comunidad más cercana, además, cuando el campo es más irregular y el acceso no es lo suficientemente fácil para las operaciones de la máquina. Por otra parte, el tercer método, la recolección de barbecho a través de una máquina permite recoger más toneladas por hectárea, pero este método necesita de un operador calificado y mejoras tecnológicas para hacer el trabajo más eficiente. En la actualidad operan el método 2 y 3 que han resultado más eficientes en el proceso de recolección. Cabe anotar que el método 2, la recolección manual, es posible por la financiación que aporta el proyecto MDL.

#### **5.4.2 Operación del Proyecto**

Los residuos de cosecha son cortados y preparados para la introducción y la quema en las calderas. El proceso de recolección, transporte, picado, y la alimentación de los residuos a las calderas está siendo desarrollado en Incauca y será una novedad en el sector. (Incauca 2013).

Para la preparación de los residuos de biomasa, este proceso se desarrolla con un conjunto de equipos que opera en línea al mismo tiempo para obtener la mejor calidad de picado. La maquinaria se encuentra en el patio 3. El picado se realiza mediante un interruptor fijado a una pala de rotor, un yunque ajustable en material de acero donde se encuentran las cuchillas, y que giran a alta velocidad para generar el corte o material picado. (UNFCCC/CCNUCC, 2013)

En el proyecto que se propone la actividad estima 61.600 toneladas anuales de barbecho (calor específico de 3,500 Btu por libras) serán recogidos y transportados para ser utilizado como fuente de energía en la fábrica con el fin de sustituir la uso de al menos 14.000 toneladas de carbón (calor específico de 11,000 Btu / libra). (Incauca 2013).

La Cooperativa de hoja de caña; para el año 2010 contaba con 35 colaboradores del municipio de Padilla, esta cooperativa se conformó en el año 2008 como parte de las estrategias de la ejecución del proyecto MDL.

#### **5.4.3 Seguimiento al Proyecto MDL**

El 6 de febrero de 2013, se ha publicado la primera versión del monitoreo al proyecto con corte al periodo 15-10-2009 al 31-12-2012, revisando la ejecución del proyecto MDL de junio 2011 a diciembre 2012 encontrando una reducción neta de emisiones GEI, específicamente de dióxido de carbono de 69.721 tCO<sub>2</sub>e y 0.0895 tCO<sub>2</sub>e/GJ carbón desplazado por consumo de biomasa, lo cual equivale a la reducción de consumo de 7.698 toneladas de carbón, que se han sustituido por 34.826 ton de barbecho. Este monitoreo se ha realizado de acuerdo con la metodología AM0036 y las herramientas aplicables, indicados en el plan de vigilancia establecido por Incauca, al momento de la aprobación del proyecto MDL.

La estructura para el seguimiento del proyecto MDL es la siguiente: 1) Sistema de monitoreo en línea; Que consta de algunos instrumentos y equipos necesarios para determinar las emisiones de GEI y las reducciones de emisiones, este sistema es monitoreado y operado desde una central de control. 2) Sistema de grabación de datos; Actúa como una copia de seguridad, se toman algunas lecturas manuales a lo largo del día y se usan para contrastar otras lecturas, sirve a la vez como medio de estimación de datos esenciales en el caso de fallar el sistema en línea. 3) Archivo de los datos; Estos se almacenan en un servidor

(seguro y recuperable) de forma automática y se mantienen por dos años después del final del período de acreditación. 4) Auditoria y revisión de la gestión; El encargado del proyecto MDL coordina auditorias periódicas (anualmente), el auditor no está vinculado con la operación diaria del proyecto.

#### **5.4.4 Retribuciones Económicas de la Ejecución del Proyecto**

En la actualidad Incauca S.A. cuenta con 20.324 CERS, correspondientes a la ejecución del proyecto de los años 2011-2012, los cuales fueron certificados el 26 de marzo de 2015. Estos bonos de carbono aún no han sido negociados, la empresa se encuentra a la espera a que se reactive el mercado de carbono, se estima que una vez se concreten los nuevos compromisos de reducción de emisiones por parte de los países que hacen parte del anexo I del protocolo de Kioto, situación que se definirá en la próxima reunión en Paris en diciembre del presente año (2015).

#### **5.4.5 Situación actual del proyecto MDL**

De acuerdo con entrevistas realizadas con personal de la fábrica en Incauca, se pudo establecer este proyecto en la actualidad no se está ejecutando al 100%, se han presentado inconvenientes técnicos en su operación; la hoja de caña (barbecho), al llegar al sitio de acopio (patios) se entremezcla con el bagazo y genera problemas operacionales, causando incidentes con los vehículos que descargan materiales. Adicionalmente al usarse en las calderas como combustible para producir vapor, genera inconvenientes en la operación de las calderas por el tamaño de la hoja. Finalmente la hoja de caña se sigue recolectando con la colaboración de la cooperativa creada para la ejecución del proyecto, pero el destino que se le da este material ha cambiado, se está llevando a la planta de compostaje, donde se integra al proceso de compost.

Las razones por las que no se ha dado continuidad al proyecto, están fuertemente relacionadas con los incentivos económicos de los proyectos MDL, pues los valores de los bonos de carbono ó CERs, han variado de forma tan drástica que en su mejor momento el valor de venta de cada CERs era de US\$30, pero ya para el año 2014 el valor se encontraba en US\$0,20. Teniendo en cuenta que para resolver los inconvenientes técnicos que se han presentado en la ejecución del proyecto, se requiere de inversión en innovaciones tecnológicas que representan altos costos económicos para la empresa y dichos costos no tendrán retorno, claramente ninguna ganancia económica para el Ingenio, desestimulando la continuidad del mismo.

Esta situación no es particular de este proyecto, por el contrario, en el Informe anual de la Junta Ejecutiva del mecanismo para un desarrollo limpio a la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto de noviembre de 2014, se evidencia entre los retos que afronta el MDL “Con los bajos precios actuales, los proyectos están ya sea retrasando la expedición o, en el peor de los casos, poniendo fin a sus operaciones. Aproximadamente la mitad de las actividades de proyectos que antes expedían RCE no han comunicado con la Junta en los últimos 24 meses. Se prevé además que, para el final de 2020, aproximadamente el 70% de los proyectos habrán llegado al término de sus períodos de acreditación, y alrededor de la mitad de ellos tendrán derecho a renovarlos” (Naciones Unidas 2014).

## **6 Parámetros Ambientales**

### **6.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> Relacionadas con el Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar**

De acuerdo con información publicada por Tecnicaña, resultado del estudio de análisis de ciclo de vida del sector azucarero colombiano como herramienta para determinar sus emisiones de gases de efecto invernadero, se ha estimado que en las etapas de campo y cosecha, contribuyen en un 96% a las emisiones de GEI totales de todo el proceso, con un valor de 21,3 kg de CO<sub>2</sub>eq/ton de caña. El 67% de estas emisiones corresponden a la etapa de campo y el 33% restante a los procesos de cosecha.

### **6.2 Emisiones y Captura de CO<sub>2</sub> en los Ingenios Incauca, Mayaguez y Providencia**

Del Sector agroindustrial dedicado a la caña de azúcar en Colombia, se han tomado tres ingenios que son representativos en el país, se recolectó la información de los respectivos informes de sostenibilidad de los años 2012-2013, referente al área sembrada neta de caña de azúcar, cantidad de caña molida anual, el consumo de combustibles en el proceso de fábrica (carbón y biomasa).

Partiendo de esta información se estableció las emisiones de CO<sub>2</sub> anual, teniendo en cuenta como factor de emisión para el combustible carbón 2,1648 ton CO<sub>2</sub>/ton caña molida y para el bagazo 0,8020 ton CO<sub>2</sub>/ton. También se estableció la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado por el área neta sembrada, tomando como valor de referencia 23 ton de CO<sub>2</sub> ha, se ha obtenido la siguiente información:

**Tabla 3** Valoración de Emisiones de CO<sub>2</sub> en Ingenios tomados como referentes

Ingenio	Año	Area Neta	Caña	Emisiones de		Emisiones	Total	Captura de	CO <sub>2</sub> Emitido	Relación	
		Sembrada (hec)	molida/ton año	Consumo ton/año	CO <sub>2</sub> / caña molida año	Consumo ton/año	de CO <sub>2</sub> / caña molida año	emisiones CO <sub>2</sub> / caña molida año	CO <sub>2</sub> /área neta sembrada	molida año con descuento de captura	CO <sub>2</sub> / de caña molida (sin descuento de captura)
INCAUCA	2010	30.283,69	3.091.800,76	114.224,72	247.273,67	749.849,00	601.378,90	848.652,57	696.524,96	152.127,62	0,274
	2011	38.198,64	3.899.873,86	119.842,51	259.435,07	900.183,00	721.946,77	981.381,83	878.568,73	102.813,10	0,252
	2012	32.515,60	3.319.666,11	85.846,33	185.840,14	786.026,62	630.393,35	816.233,48	747.858,76	68.374,72	0,246
	2013	35.417,35	3.615.919,65	103.941,89	225.013,40	816.261,74	654.641,92	879.655,32	814.599,15	65.056,17	0,243
PROVIDENCIA	2010	24.122,11	2.462.737,00	74.172,00	160.567,55	633.131,00	507.771,06	668.338,61	554.808,64	113.529,97	0,271
	2011	28.242,44	2.883.400,00	24.432,00	52.890,39	618.515,37	496.049,33	548.939,72	649.576,16	-100.636,44	0,190
	2012	33.128,80	3.382.270,44	19.570,00	42.365,14	557.183,00	446.860,77	489.225,90	761.962,35	-272.736,45	0,145
	2013	33.535,85	3.423.828,24	34.696,00	75.109,90	589.645,00	472.895,29	548.005,19	771.324,55	-223.319,35	0,160
MAYAGUEZ	2010	20.480,27	2.090.924,00	64.613,00	139.874,22	345.842,00	277.365,28	417.239,51	471.046,12	-53.806,61	0,200
	2011	21.989,42	2.245.000,00	73.768,00	159.692,97	367.760,00	294.943,52	454.636,49	505.756,56	-51.120,08	0,203
	2012	22.488,95	2.296.000,00	74.068,00	160.342,41	390.503,00	313.183,41	473.525,81	517.245,91	-43.720,10	0,206
	2013	21.131,26	2.157.387,00	92.928,00	201.170,53	356.719,00	286.088,64	487.259,17	486.018,99	1.240,18	0,226

Fuente: Las autoras, con información compilada de informes de sostenibilidad 2010-2013 ingenios; Incauca, Providencia y Mayaguez.

**Tabla 4** Promedio de Emisiones de CO<sub>2</sub> año/ton caña molida

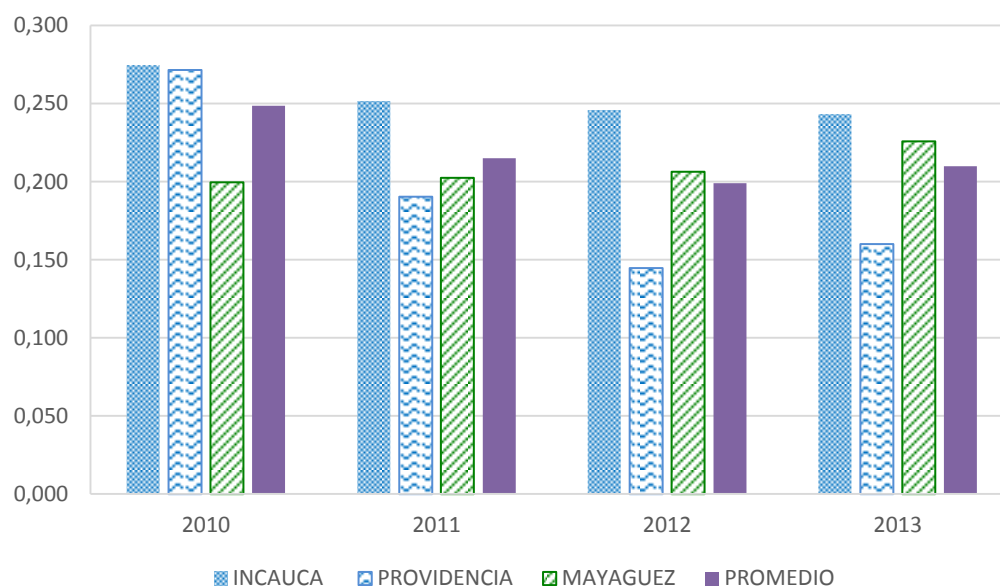
INGENIO	2010	2011	2012	2013	PROMEDIO
INCAUCA	0,274	0,252	0,246	0,243	0,25
PROVIDENCIA	0,271	0,190	0,145	0,160	0,19
MAYAGUEZ	0,200	0,203	0,206	0,226	0,21
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,248</b>	<b>0,215</b>	<b>0,199</b>	<b>0,210</b>	<b>0,22</b>

Fuente: Las autoras, con información compilada de informes de sostenibilidad 2010-2013 ingenios; Incauca, Providencia y Mayaguez.

Se puede observar que el promedio de emisiones de CO<sub>2</sub> de los tres ingenios más representativos del Valle del Cauca, es de 0.22 ton de CO<sub>2</sub> por tonelada de caña molida. Esta información se estima teniendo en cuenta que los procesos en fábrica son similares, con el uso de bagazo y carbón como combustible en sus calderas.

### 6.2.1 Resultado de Emisiones y Captura de CO<sub>2</sub> en los Ingenios Incauca, Mayaguez y Providencia

Se evidencia que de los tres ingenios seleccionados para hacer la comparación de emisiones de CO<sub>2</sub>, Incauca presenta la mayor tasa de emisiones, estos valores están relacionados con la cantidad de caña molida anualmente, dato que para el mismo ingenio es más alto en un 40% sobre los ingenios Providencia y Mayaguez. Aunque en el análisis de emisiones por tonelada de caña molida continua liderando Incauca con 0,25 ton de CO<sub>2</sub>, seguido de Providencia con emisiones 0,21 ton de CO<sub>2</sub> por tonelada de caña molida.



**Figura 1.** Emisiones de CO<sub>2</sub> en el Valle del Cauca

Fuente: Las autoras, con información compilada de informes de sostenibilidad 2010-2013 ingenios; Incauca, Providencia y Mayaguez

Al verificar el balance de emisiones de CO<sub>2</sub> y la captura que procede del cultivo de planta de caña de azúcar, la cual es una planta de metabolismo alto en la asimilación de CO<sub>2</sub>, por ser de metabolismo tipo C4. Se ha determinado que en un 90% se compensan las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del proceso de fábrica en

los ingenios (molienda caña de azúcar), con el cultivo de las plantas de caña de azúcar, que fijan el CO<sub>2</sub> durante su proceso de crecimiento.

De acuerdo con lo establecido por Ballesteros y Solera 2011 en promedio se estima que por una hectárea sembrada de caña de azúcar captura 23 ton de dióxido de carbono.

### **6.3 Análisis de Emisiones de CO<sub>2</sub> en la Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia**

De acuerdo con publicación del Fondo de Estabilización de Precios del Azúcar, en Colombia se muele más de 20 millones de toneladas de caña de azúcar al año, en 13 ingenios que utilizan como principales combustibles en sus calderas carbón, biomasa (bagazo de caña) y otros combustibles de origen fósil derivados del petróleo. (Ver anexo 1). Cantidad de caña molida en el país desde enero del año 2010 al 2014, estableciendo el total de caña molida tonelada/año).

A continuación se hace una compilación de los datos de la cantidad de caña molida en los trece ingenios de Colombia, ubicados en el Valle geográfico del río Cauca, estimación del área sembrada, emisiones de dióxido de carbono en el proceso de fábrica (molienda de la caña de azúcar), con el uso de carbón y biomasa como combustible y captura de CO<sub>2</sub> por área neta sembrada de caña, tomando como referencia los años 2002-2013.

Para hallar las emisiones de CO<sub>2</sub>, se ha tomado como valor de referencia el valor promedio de emisiones (sin descuento de captura de las plantas de caña de azúcar) de los Ingenios; Incauca, Providencia y Mayaguez en el período (2010-2013), que es de 0,22 CO<sub>2</sub>/ caña molida.

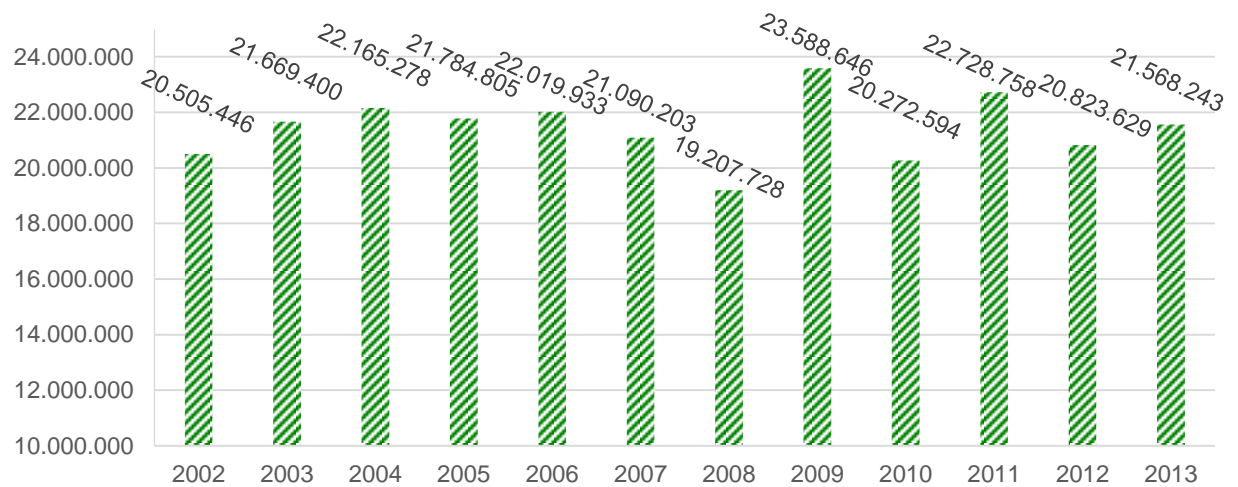


**Tabla 5.** Emisiones de CO<sub>2</sub> del Sector Agroindustrial Caña de Azúcar, Procesos de Fábrica en Colombia años 2002-2013.

Año	Caña molida (toneladas)	Área neta sembrada (hectáreas)	Emisiones de CO <sub>2</sub> / caña molida (toneladas)	Captura de CO <sub>2</sub> /área neta sembrada	Balance de emisiones	Relación Emisión/captura CO <sub>2</sub>	Relación Emisión CO <sub>2</sub> /caña molida
2002	20.505.446	205.456	5.073.873	4.725.488	348.385,3	1,07	4,041
2003	21.669.400	198.038	5.361.882	4.554.874	807.008,3	1,18	4,04
2004	22.165.278	197.013	5.484.583	4.531.299	953.283,6	1,21	4,04
2005	21.784.805	198.049	5.390.438	4.555.127	835.311,2	1,18	4,04
2006	22.019.933	203.184	5.448.618	4.673.232	775.386,4	1,17	4,04
2007	21.090.203	202.926	5.218.566	4.667.298	551.267,8	1,12	4,04
2008	19.207.728	205.664	4.752.766	4.730.272	22.493,5	1,00	4,04
2009	23.588.646	208.254	5.836.781	4.789.842	1.046.939,1	1,22	4,04
2010	20.272.594	218.311	5.016.256	<b>5.021.153</b>	-4.896,8	1,00	4,04
2011	22.728.758	223.905	5.624.010	5.149.815	474.194,8	1,09	4,04
2012	20.823.629	227.748	5.152.604	<b>5.238.213</b>	-85.609,0	0,98	4,04
2013	21.568.243	225.560	5.336.852	5.187.870	148.981,5	1,03	4,04

Fuente: Las autoras con información compilada de Asocaña 2014

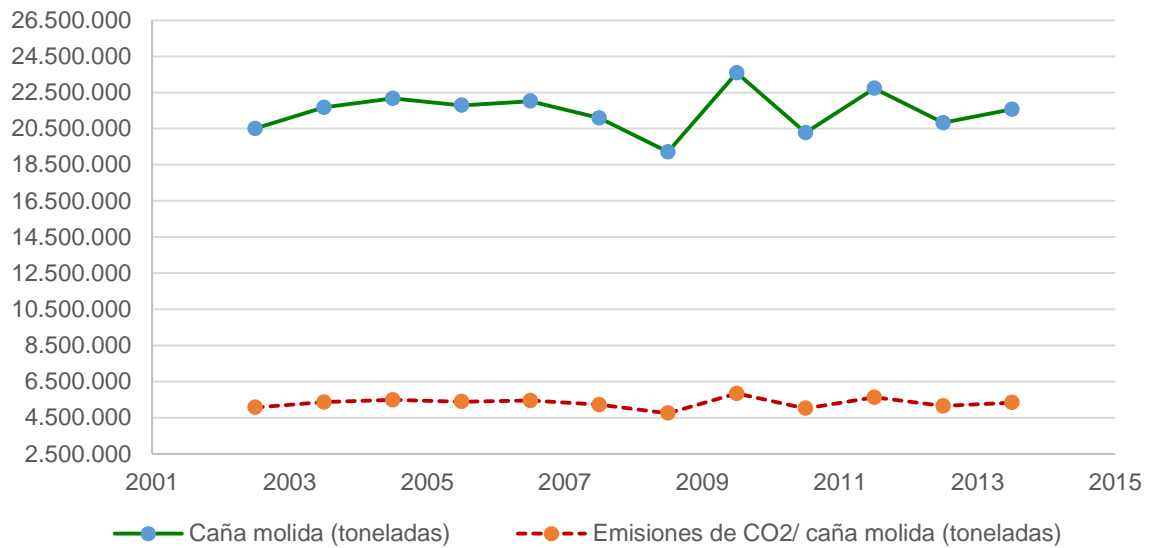
La figura 2, evidencia que la mayor molienda de caña de azúcar en Colombia en el período 2002 – 2013, se presenta en el año 2009 con una molienda total de 23.588.646 ton y el valor más bajo en el año 2008, con una molienda de caña de 19.207.728 ton



**Figura 2.** Toneladas de caña de azúcar molida en el Valle del Cauca

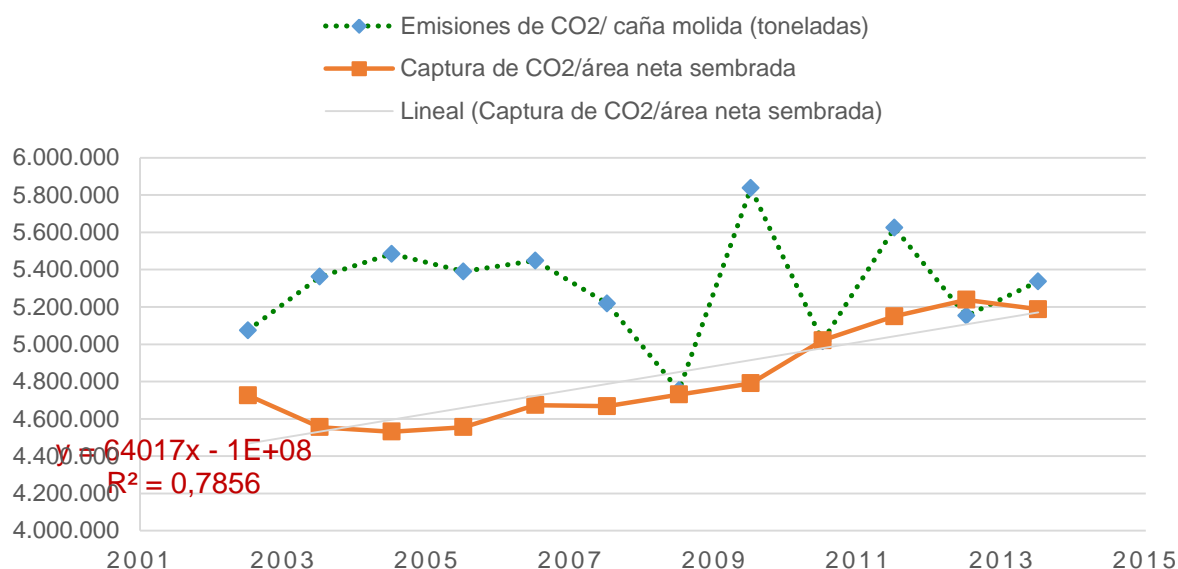
Fuente: Las autoras con información compilada de Asocaña 2014

Como se logra observar en la figura 3 las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a los procesos de fábrica de los ingenios azucareros del valle geográfico del río Cauca, guardan relación proporcional con la cantidad de caña molida anualmente, en el lapso de los años 2002-2013, se observa que el punto más alto se obtuvo en el año 2009 con una molienda de 23.588.646 toneladas y con emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> de 5.189.502ton/año.



**Figura 3.** Tendencia de las toneladas de caña molida y las emisiones de CO<sub>2</sub> en los ingenios en el Valle del Cauca. Fuente: Las autoras con información compilada de Asocaña 2014

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de los ingenios azucareros del valle geográfico del río cauca, representan una media de 5.308.102,51, ton/año, (ver anexo 4 análisis estadístico) representando una relación de 4,04 emisiones de CO<sub>2</sub> / caña molida (procesos de fábrica). De estas emisiones es capturado por las plantaciones de caña de azúcar un valor medio de 4.818.707,02 ton CO<sub>2</sub> representando una relación de emisión / captura de CO<sub>2</sub> en un promedio de 1,10.



**Figura 4.** Tendencia de la emisión y captura CO<sub>2</sub> de los Ingenios azucareros de Colombia

Fuente: Las autoras con información compilada de Asocaña 2014

Al revisar la figura 4, se puede observar que la captura de dióxido de carbono, por parte de la agroindustria de la caña de azúcar en el país, se mantiene estable en el periodo 2002-2014, mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub>, procedentes de los procesos de fábrica, presentan variabilidades importantes en los años 2009 y 2012.

Se puede deducir que para estos años no se compensaron las emisiones de CO<sub>2</sub>, con la captura de CO<sub>2</sub>, por parte de las plantas de caña de azúcar. Esto sucede porque las hectáreas sembradas de caña son estables, en cambio la cantidad de caña molida, depende de variables como el clima y el entorno social. En este caso concreto en el año 2008 se presentó un paro de corteros de caña, que afectó la molienda de caña durante este año y en consecuencia al año siguiente los ingenios azucareros enfocaron sus esfuerzos en moler durante casi todo el año, para recuperar las pérdidas del año anterior, alcanzando el punto más alto de molienda durante los últimos diez años.

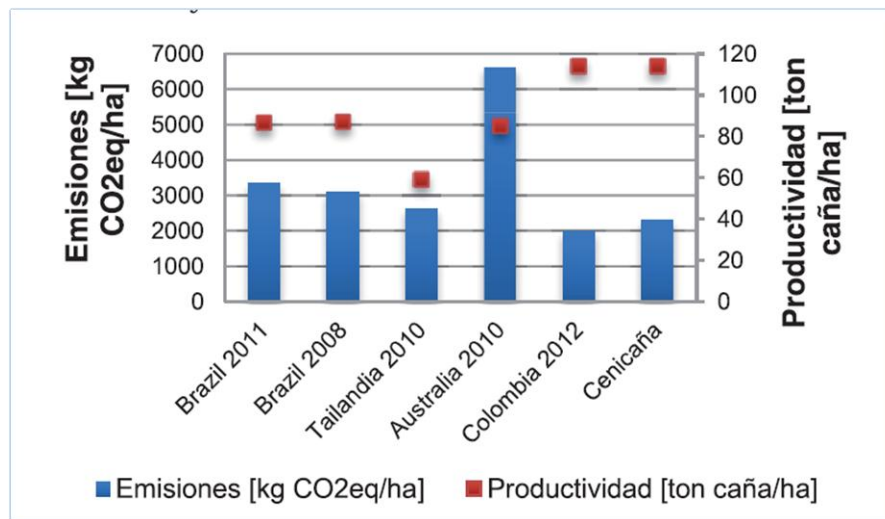


**Figura 5.** Tendencia de la relación: Emisión captura CO<sub>2</sub> de los Ingenios azucareros de Colombia

Fuente: Las autoras con información compilada de Asocaña 2014

La figura 5, muestra que la tendencia de captura de CO<sub>2</sub> en los ingenios azucareros de Colombia, es cercana a 1.0, lo que permite establecer que las emisiones de CO<sub>2</sub>, procedentes de los procesos de fábrica de los ingenios se compensan en su totalidad, por las plantas de caña sembradas. Es importante tener en cuenta que los datos analizados tienen una alta confiabilidad de acuerdo con el análisis estadístico realizado. ( $R^2=0.78$ )

Según publicación de BNDS & CGEE 2008, en el Centro Sur Brasileño los valores de emisiones de CO<sub>2</sub> en la agroindustria del bioetanol fabricado a partir de caña de azúcar en sus procesos de fabricación de etanol representan emisiones promedio de 4,04 ton CO<sub>2</sub>. Se logra evidenciar que las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia, son similares a las de esta agroindustria en Brasil, que es el mayor productor mundial de caña de azúcar. Vale la pena anotar que las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2011 (toneladas métricas per cápita) en Brasil ascienden a 2.2, mientras que en Colombia es del 1.5, según información publicada por el Banco Mundial.



**Figura 6.** Emisiones de CO<sub>2</sub> y productividad de caña de azúcar a nivel mundial  
Fuente: Tecnicaña (2015)

A nivel mundial las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la agroindustria de la caña de azúcar, los valores más altos los sostienen Australia, seguido de Brasil; Colombia a pesar de estar ubicado entre los países con mayor productividad (ton caña/ha), no figura entre los países con altas tasas de emisiones de CO<sub>2</sub> (ver figura 6), se puede decir que uno de los factores que tiene a favor Colombia es su clima tropical, que permite cosechar caña durante todo el año (favorece la captura de CO<sub>2</sub>) y los eficientes procesos energéticos desarrollados en los ingenios azucareros (uso de energía renovable, biomasa).

#### **6.4 Situación Actual Emisiones de CO<sub>2</sub> en INCAUCA S.A. relacionadas con el Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar**

En el proceso de producción el Ingenio del Cauca se cuenta con cuatro calderas para la producción de vapor, de las cuales dos funcionan con combustible bagazo de caña (energía renovable) y las otras dos con una mezcla de bagazo y carbón. De acuerdo con información suministrada por el Ingenio para el año 2013, se

molieron 3.554.386,26 ton de caña, que requirió de 103.942,70 ton de carbón y 816.063,80 ton de bagazo, en todo el proceso de fábrica.

Se ha realizado la recopilación de los datos de molienda, consumo de carbón<sup>6</sup> de los últimos nueve años (2006-2014) del Ingenio del Cauca, tiempo en el cual ya se había iniciado la ejecución del proyecto MDL “Incauca Fuel SwitchProject”, registrado en el año 2008 en UNFCCC, con esta información se ha establecido las emisiones de dióxido de carbono provenientes del consumo de carbón como combustible en la fábrica. Esta información se obtuvo aplicando el valor de referencia (2.1648) para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>, usando en la molienda como combustible carbón.

---

<sup>6</sup>No se ha tomado los valores referentes al consumo de biomasa como combustible, teniendo en cuenta que las emisiones procedentes de la misma, se compensan en un 90% con la captura de CO<sub>2</sub> las plantas de caña de azúcar, además el combustible de interés para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, del proyecto MDL es el carbón.

**Tabla 6.** Emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fábrica INCAUCA

Año	Caña Molida anual (ton)	Consumo de Carbón Ton/año	Emisiones CO <sub>2</sub> anual (ton)	Relación	
				Consumo de carbón / caña molida	Emisiones CO <sub>2</sub> / caña molida
2006	3.913.079,79	161.982,57	350.659,86	0,0414	0,0896
2007	3.309.098,15	140.090,00	303.266,83	0,0423	0,0916
2008	3.011.035,30	118.969,04	257.544,18	0,0395	0,0855
2009	4.203.689,74	95.459,96	206.651,71	0,0227	0,0492
2010	3.377.425,48	114.938,08	248.817,94	0,0340	0,0737
2011	3.930.331,63	119.519,04	258.734,82	0,0304	0,0658
2012	3.319.666,11	86.740,90	187.776,70	0,0261	0,0566
2013	3.615.919,65	103.669,58	224.423,90	0,0287	0,0621
2014	4.139.471,53	102.618,21	222.147,90	0,0248	0,0537
<b>Promedio emisiones CO<sub>2</sub>/ ton de caña molida</b>					<b>0,070</b>

Fuente: Las autoras



**Tabla 7.** Prueba de comparación de Duncan para los procesos de fábrica del Incauca S.A.

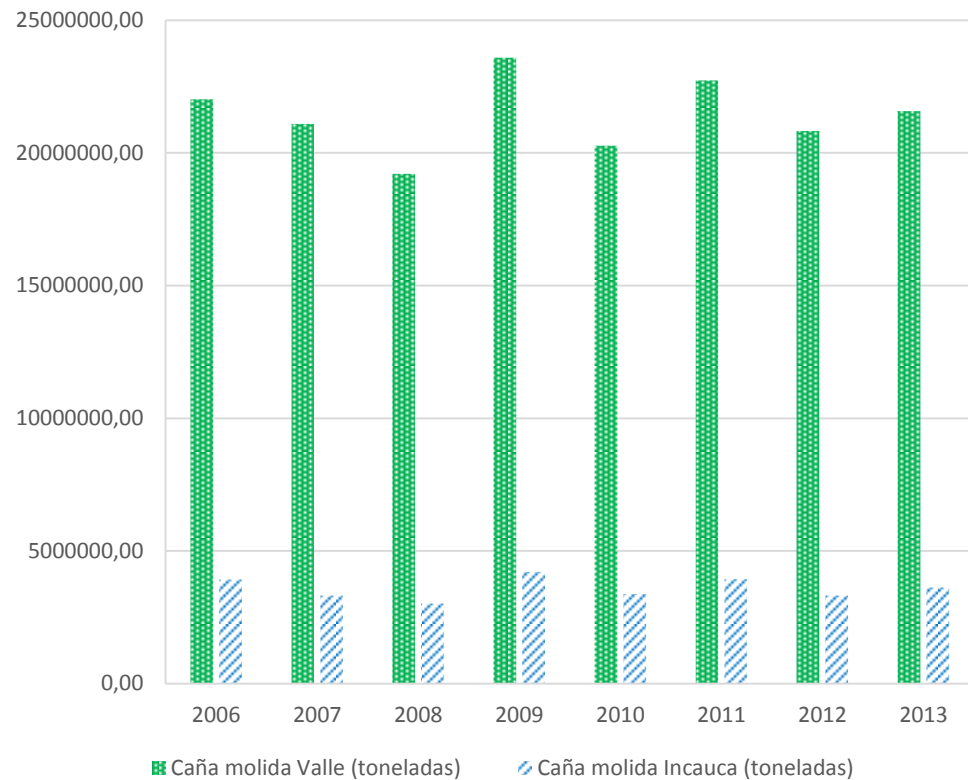
<b>Variables</b>	<b>T 1 (año 2006)</b>	<b>T 2 (año 2007)</b>	<b>T 3 (año 2008)</b>	<b>T 4 (año 2009)</b>	<b>T 5 (año 2010)</b>	<b>T 6 (año 2011)</b>	<b>T 7 (año 2012)</b>	<b>T 8 (año 2013)</b>	<b>T 9 (año 2014)</b>
Caña Molida	326.090 (AB)*	275.758 (C )	273.730 (C )	350.307 (A)	281.452 (C )	327.528 (AB)*	276.639 (C )	301.327 (BC)*	344.956 (A)
Carbón Consumido	13.498,5 (A)	11.674,2 (B)	10.815,4 (B)	7.955 (EF)*	9.578,2 (CD)	9.959,9 (C )	7.228,4 (F)	8.639,1 (DE)*	8.551,5 (ED)*
Producción de Vapor	475.598 (A)	399.816 (BC )*	382.552 (C )	463.950 (A)	382.793 (C )	435.802 (AB)*	388.020 (C )	394.519 (BC )*	435.221 (AB)*

Fuente: Las autoras

(\*): Letras diferentes significan promedios estadísticamente diferentes según la prueba de DUNCAN (0,05)

#### **6.4.1 Molienda de Caña de Azúcar en Incauca**

De acuerdo con la tabla 7, se puede establecer que la molienda de caña en Incauca tuvo su punto más alto en el año 2009, con un valor medio mensual de 350.307 ton, seguido del año 2014 con un valor medio mensual de 344.956 ton y se aprecia que el valor más bajo se obtuvo en el año 2008 con una molienda media mensual de 273.730 ton.



**Figura 7.** Caña molida en Incauca Vs. Caña molida en el sector agroindustrial caña de azúcar

Fuente: Las autoras

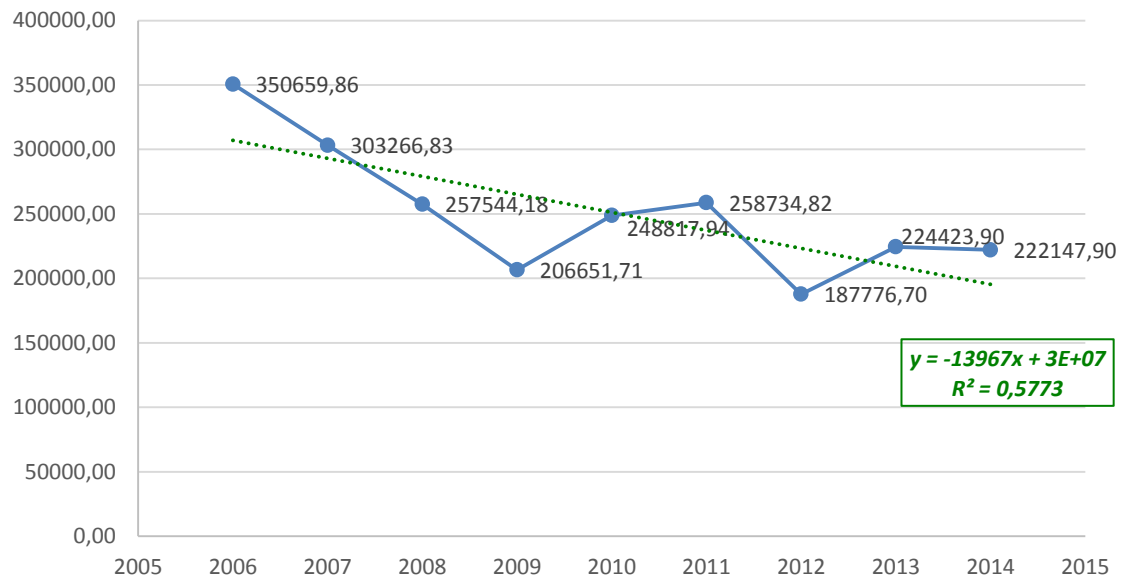
Del total de caña molida anualmente en Colombia, el Ingenio INCAUCA S.A., muele aproximadamente el 16,72% de la caña que se procesa en el país. Se puede ver cómo los años 2009 y 2008, respectivamente, representan; el primero la mayor molienda tanto en el país como en Incauca y del mismo modo el año 2008, representa la menor molienda en ambos casos. (Ver figura 7)

Los valores correspondientes a las moliendas más bajas de Incauca, corresponden al año 2008, en el cual se presentó un paro de corteros de caña, que afectó seriamente los procesos de fábrica del ingenio. Por otra parte para el año 2009 se presentó record en molienda en la historia del ingenio, valor que

hasta el año 2014 no se ha superado, las razones más plausibles se pueden atribuir a las condiciones climáticas favorables, que permitió cosechar durante más tiempo y la ausencia de paros por mantenimiento en los procesos de fabricación.

#### 6.4.2 Consumo de Carbón y Emisiones de CO<sub>2</sub> en Incauca

Según lo establecido en la prueba de comparación Duncan para los procesos de fábrica, el consumo de carbón presenta el nivel más alto para el año 2006, con una cantidad media mensual de 13.498,5 ton, mientras que para el año 2012 se han consumido una cantidad media mensual de 7.228,4 ton, ubicándose en el nivel más bajo de consumo en el periodo (2006-2014). El consumo de carbón está directamente relacionado con las emisiones de CO<sub>2</sub> teniendo en cuenta que el factor de emisión por usar carbón como combustible es de 2,16 para la producción de vapor en los procesos de molienda de caña de azúcar.



**Figura 8.** Tendencia de emisiones de CO<sub>2</sub> (ton/año) en Incauca. Fuente:  
Las autoras

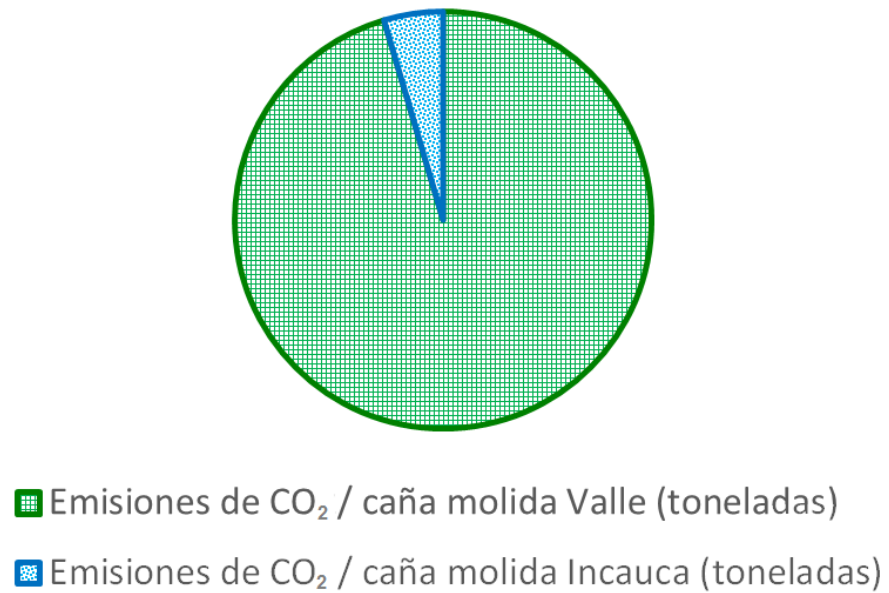
Se estima que Incauca en el proceso de fábrica tiene emisiones de CO<sub>2</sub> promedio anual de 251.113,76 ton., lo que se traduce en 0,070 ton de CO<sub>2</sub> por tonelada de caña molida, usando carbón como combustible en las calderas. Cabe aclarar que en el proceso de fábrica Incauca cuenta con cuatro calderas, de las cuales dos usan como combustible bagazo de caña y hoja de caña (barbecho) y las otras dos calderas combinan carbón y biomasa. Para el presente estudio se toman las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de carbón, como combustible en los procesos de fábrica, porque las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión de biomasa se mitigan con la absorción de CO<sub>2</sub> de las plantas de caña en su proceso de fotosíntesis.

Asumiendo que las tecnologías y los combustibles usados por los demás ingenios colombianos son similares a los del Ingenio INCAUCA S.A. y tomando como una emisión promedio de referencia, por tonelada de caña molida un valor de 0,070 ton de CO<sub>2</sub>, se puede inferir que las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la molienda de caña en Colombia ascienden a 1.501.643,87 ton/anuales. Así;

Promedio de caña molida en Colombia años 2002-2013: 21.452.055 ton anual

Emisiones de CO<sub>2</sub> promedio por ton de caña molida en Incauca: 0,070 ton de CO<sub>2</sub>/ton caña.

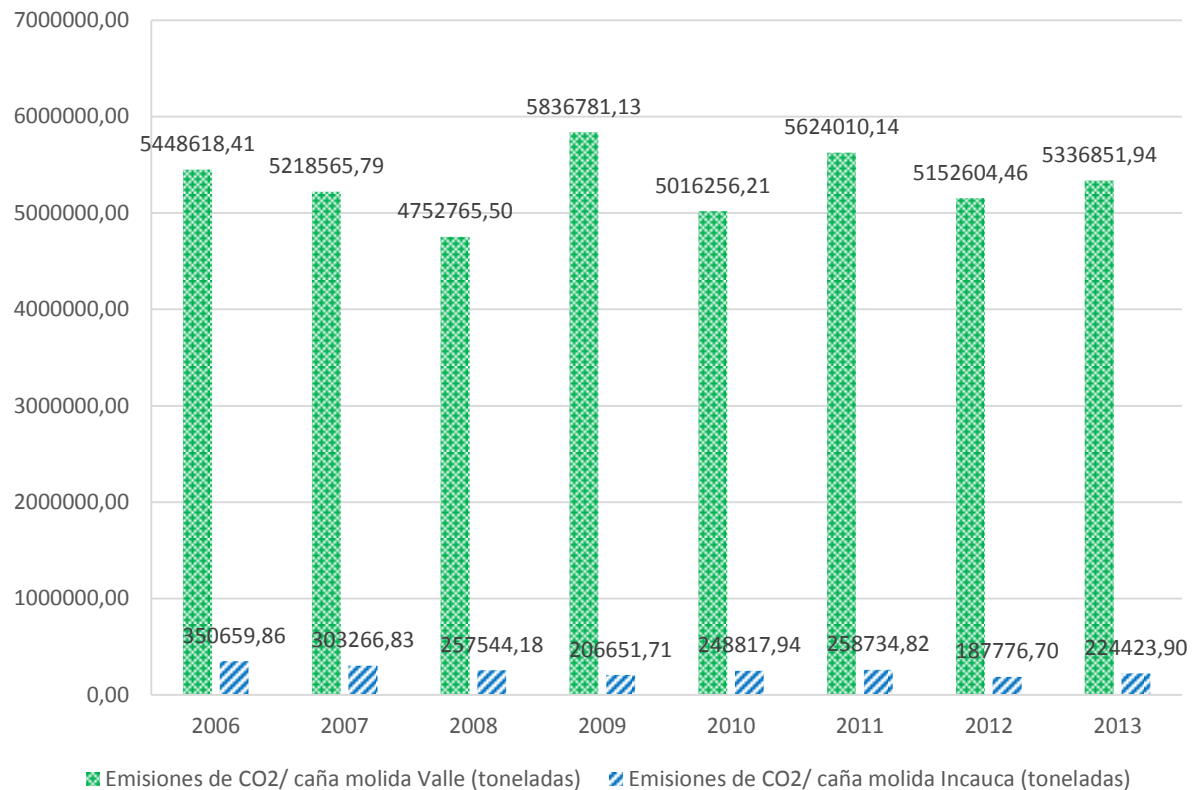
Entonces: 21.452.055 ton caña x 0,070 ton de CO<sub>2</sub>/ton caña = 1.501.643,87 ton/anuales de CO<sub>2</sub>.



**Figura 9.** Participación de Incauca en emisiones de CO<sub>2</sub> en Ingenios de Colombia

Fuente: Las autoras

Se ha determinado que las emisiones de CO<sub>2</sub> de los procesos de fábrica de Incauca, tienen una participación del 5% sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia.



**Figura 10.** Relación de emisiones de CO<sub>2</sub> Incauca Vs agroindustria de la caña de azúcar Colombia.

Fuente: Las autoras

Con la implementación del proyecto MDL, Incauca logra disminuir 35.140 ton de CO<sub>2</sub> anual de las emisiones asociadas a la molienda de la caña de azúcar, lo que se traduce en una disminución del 13,99% de las emisiones anuales. Se puede decir que en el momento hipotético que los doce ingenios restantes participaran en proyectos MDL de características similares a las que se encuentra ejecutando Incauca, se tendrían una disminución de emisiones de 210.079,98 ton de CO<sub>2</sub>/año, que también representan una disminución del 13,99% de emisiones de CO<sub>2</sub> por parte del sector agroindustrial caña de azúcar.

Teniendo en cuenta la información de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de caña molida/año, se ha identificado que desde el inicio de la ejecución del proyecto MDL octubre del 2008 al año 2014, las emisiones no presentan una baja considerable, manteniendo un promedio de emisiones de 0.070 ton CO<sub>2</sub>/ton caña molida, observándose solo una baja de interés en el año 2009, donde las emisiones fueron de 0,049 ton CO<sub>2</sub>/ton caña molida.

En las metas establecidas en el proyecto MDL, que se encuentra ejecutando Incauca, está la reducción del consumo de 14.000 toneladas de carbón anuales, el proyecto lleva ejecutándose desde el año 2008 (ver tabla 6 Emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de fábrica INCAUCA) y en la certificación de CERs provenientes de la ejecución del periodo junio 2011 – diciembre 2012 (18 meses), se alcanzó la reducción de consumo de 7.698 ton de carbón, cuando en realidad en este periodo se debió reducir el consumo de 21.000 ton de carbón.

Es evidente que el consumo de carbón es fluctuante con tendencia a la baja, se observa que entre los años 2008 con un consumo medio mensual de 10.815,4 ton y para el año 2014 con un consumo medio mensual de 8551,5 ton de carbón. Aunque esta disminución es representativa no cumple con las expectativas planteadas en el proyecto MDL, el valor de consumo promedio proyectado para el año 2014 de acuerdo con el estimado en el proyecto MDL debe ser de 3815 ton de carbón. Esta situación se presenta porque la ejecución del proyecto no ha tenido éxito, por inconvenientes tecnológicos y de la misma administración del proyecto (bajos incentivos económicos para la inversión, por bajos precios de los bonos de carbono). Y la baja en consumo de carbón se puede atribuir en mejoras en los procesos de eficiencia energética.

### **6.4.3 Producción de Vapor Incauca**

De acuerdo con la información arrojada en la prueba Duncan el valor más alto promedio mensual de producción de vapor se presenta en el año 2006 con 475.598 lb y el valor más bajo promedio mensual se ubica en el año 2008, con una producción de 382.552 lb.

La producción de vapor en su rango más alto coincide con el consumo de carbón, es decir para el año 2006, se obtuvieron los rangos más altos en consumo de carbón y al tiempo en producción de vapor. Estos valores difieren del año con el promedio mensual más alto de molienda de caña, identificado como el año 2009, aunque la molienda de caña azúcar promedio mensual para el año 2006 aún se ubica entre cuatro valores más altos establecidos del periodo (2006-2014).

Se puede inferir que este comportamiento se debe al uso que se le dio al vapor generado, considerando que se halla destinado a la generación de energía eléctrica que se usó en otros procesos productivos del ingenio, distintos a la fábrica. Además de la posibilidad de haber vendido energía eléctrica a la red pública.

### **6.5 Eficiencia Energética Incauca S.A.**

En la producción de azúcar, principal objetivo del cultivo de la caña, son generados co-productos de valor energético, tales como la melaza y el bagazo. El bagazo puede ser utilizado para la producción de calor y electricidad en sistemas de cogeneración, abasteciendo la demanda energética de la planta, con potencial para generación de excedentes de electricidad para la red pública. Con la melaza puede ser producido etanol combustible, que puede ser utilizado en mezclas con gasolina en motores convencionales o puro, en motores preparados para su uso. (Tecnicaña 2015)



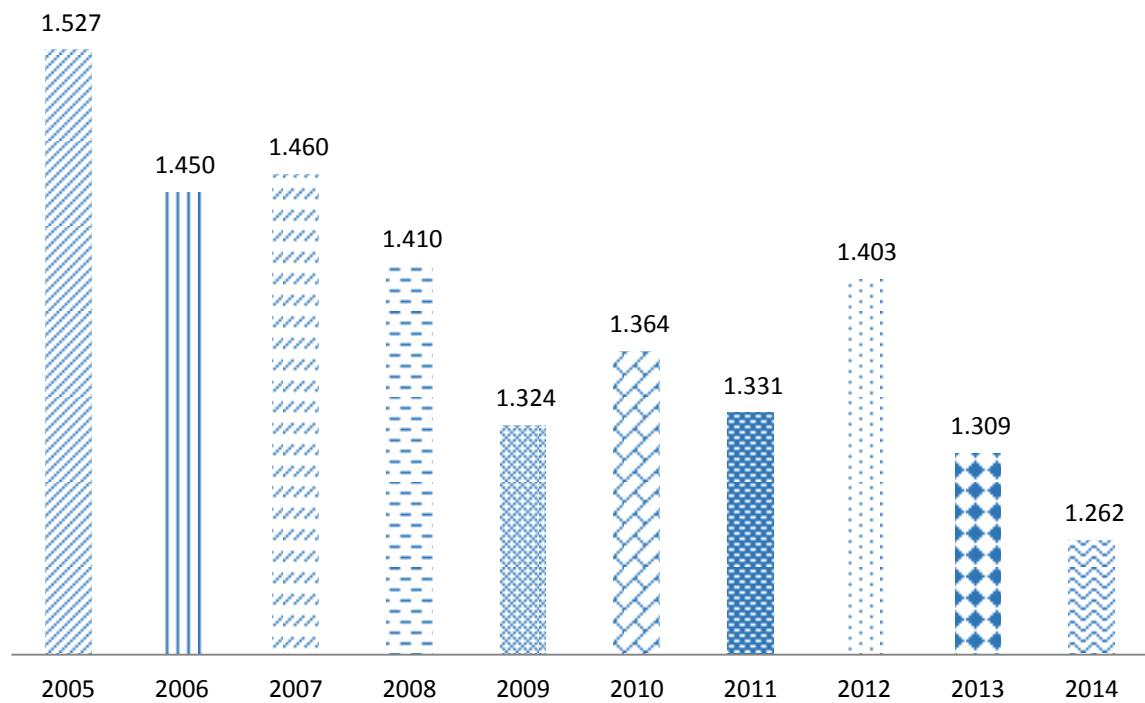
A continuación se ha recolectado la información de la producción de vapor y la energía generada en el Ingenio del Cauca, en relación con la caña molida y la energía vendida, en el lapso 2005-2014.

**Tabla 8.** Eficiencia Energética Incauca S.A

<b>AÑO</b>	<b>Lb Vapor/Ton Caña</b>	<b>Caña molida año (Ton)</b>	<b>Promedio caña molida día (Ton)</b>	<b>Carbón comprado (Ton)</b>	<b>Energía generada (MWH)</b>	<b>Energía vendida (MWH)</b>	<b>Promedio energía vendida hora (KWH)</b>
<b>2005</b>	1.527	3.694.328	11.505	160.675	169.391	80.490	10444
<b>2006</b>	1.450	3.913.080	12.174	161.983	164.124	65.268	8461
<b>2007</b>	1.460	3.309.098	11.825	140.090	138.956	46.939	6989
<b>2008</b>	1.410	2.943.760	9.651	118.969	116.384	29.303	4003
<b>2009</b>	1.324	4.203.690	12.431	95.460	150.300	35.356	4356
<b>2010</b>	1.364	3.377.425	11.586	114.938	134.656	24.970	3569
<b>2011</b>	1.331	3.930.332	11.699	119.519	206.025	53.108	6587
<b>2012</b>	1.403	3.319.666	12.161	86.741	216.697	67.088	10240
<b>2013</b>	1.309	3.615.920	13.381	103.670	235.731	72.538	11184
<b>2014</b>	1.262	4.139.472	13.062	102.618	256.757	70.222	9233

Fuente: Las autoras con información recopilada de informes de Fabrica Incauca S.A.

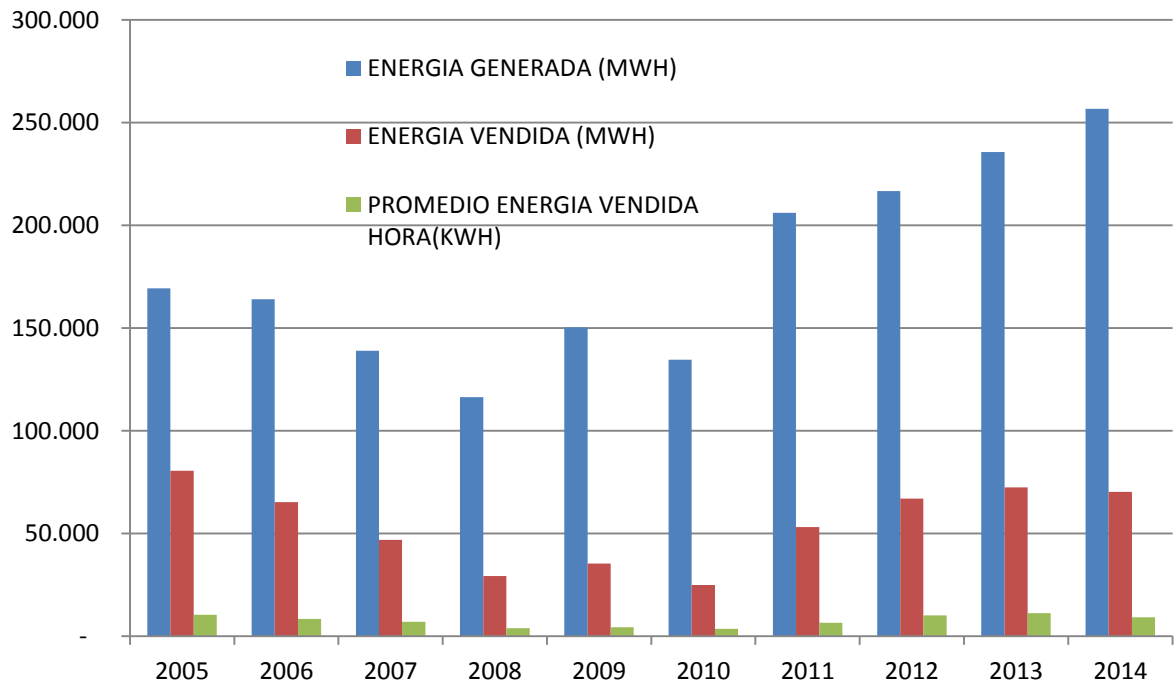
Desde el año 2005 hasta el 2014, se observa mejoras en la eficiencia energética del Ingenio del Cauca, esto gracias al uso de energía renovable para la producción de vapor y a mejoras tecnológicas que permiten aprovechar eficientemente la energía generada, de tal forma que después de cumplir con la demanda de energía en todos los procesos del ingenio, es vendida a la red de energía pública cerca del 30% de la energía generada.



**Figura 11.** Libra de vapor producido por tonelada de caña

Fuente: Las autoras con información recopilada de informes de Fabrica Incauca S.A.

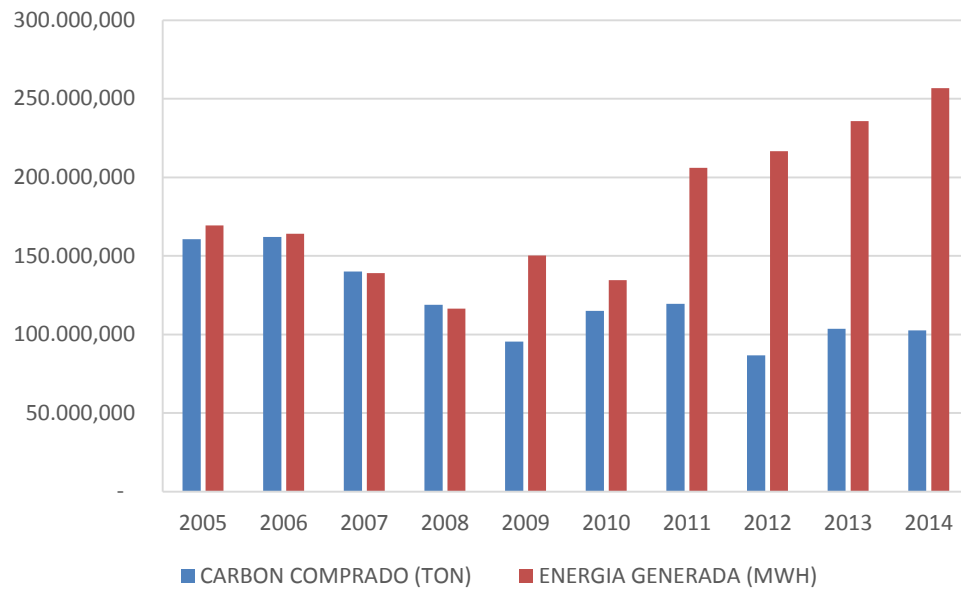
La figura 12, muestra que la energía generada en el Ingenio del Cauca, va en aumento desde el año 2005 al 2014, la energía vendida es el 30,47% de la energía generada, el 69,52 de la energía restante es utilizado en los procesos productivos en fábrica.



**Figura 12.** Energía generada Vs. Energía vendida

Fuente: Las autoras con información recopilada de informes de Fabrica Incauca S.A

Como se puede observar en la figura 13, la relación de carbón comprado versus energía generada ha bajado considerablemente del año 2005 al 2014, partiendo en el año 2005 de usar un 94% de carbón en relación con la energía generada a requerir en el año 2014 el 40% de carbón, sobre el total de energía generada.



**Figura 13.** Relación de carbón comprado versus energía generada

Fuente: Las autoras con información recopilada de informes de Fabrica Incauca S.A.

## 7 Recomendaciones y Conclusiones

### 7.1 Recomendaciones

Se han determinado las razones o motivaciones por las cuales no se ha masificado la participación de empresas del sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en Proyectos MDL, al mismo tiempo que se han identificado las motivaciones que han impulsado o pueden impulsar a la participación en este mecanismo.

Cuadro 3. Matriz Motivaciones Participación Proyectos MDL

<b>Motivaciones para no participar en Proyectos MDL</b>	<b>Motivaciones para participar en Proyectos MDL</b>
No existe la suficiente motivación en términos normativos; pues las emisiones de CO <sub>2</sub> que provienen de fuentes fijas no cuentan con un control por parte de los entes gubernamentales ambientales colombianos, de acuerdo con la Resolución 909 de 2008. En ese orden de ideas no es del interés de las empresas del sector agroindustrial de la caña de azúcar obtener reducciones en las emisiones de dióxido de carbono.	Al participar en proyectos MDL las empresas del sector agroindustrial de la caña de azúcar, contribuyen a disminuir los efectos adversos del cambio climático, se estima que en el caso de que las empresas vinculadas al sector, participaran en proyectos similares al ejecutado por Incauca S.A., estarán disminuyendo sus emisiones de CO <sub>2</sub> en un 13,99%, equivalentes a 210.079,98 ton dióxido de carbono.
Se requiere que la energía renovable tenga una valoración económica	La ejecución de proyectos MDL como el ejecutado por Incauca S.A. favorece el

<p>adecuada, para estimular la inversión de las empresas del sector agroindustrial de la caña de azúcar, en el cual existe un amplio potencial para la generación de energía eléctrica limpia de emisiones de CO<sub>2</sub></p>	<p>desarrollo sostenible del país, disminuyendo el consumo de combustibles fósiles, reemplazándolo por biomasa, la cual constituye energía renovable. Además se implementan acciones que favorece el trabajo comunitario, fortaleciendo la estabilidad social de la comunidad.</p>
<p>Económicamente no es rentable para las empresas participar en proyectos MDL, debido a los altos costos de transacción que acarrea llevar a cabo un proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio, además del lapso de tiempo que se tiene que invertir en el proceso, en el caso de Incauca trascurrieron 4 años desde el inicio hasta el registro del proyecto y para la expedición de los CERS, se necesitó de 5 años más para obtener los certificados de emisiones, lo que repercute en gastos administrativos ligados al mismo. A esto se le suma el bajo precio de CERS, los cuales al mes de agosto de 2014 se encontraba en US\$0,20. (ver anexo 3) y en la actualidad no está activo el comercio de carbono.</p>	<p>El hecho de participar en estrategias que impulsan el desarrollo sostenible tanto en la parte ambiental y social, le brinda a las empresas del sector agroindustrial de la caña de azúcar la posibilidad de enriquecer su GoodWill, y como es bien conocido un buen nombre es un activo de gran valor, colocando a la empresa en una posición ventajosa frente a otras de la competencia.</p>
<p>La ejecución de proyectos MDL, para</p>	<p>Si mejoran las condiciones económicas,</p>

que resulte satisfactoria, requiere de procesos de innovación tecnológica, los cuales resultan un poco costosos para las empresas Colombianas, teniendo en cuenta que más del 60% de la maquinaria y equipo que se requiere se debe importar de otros países, cuyo cambio a la moneda colombiana no es beneficiosa, caso actual el dólar.	caso puntual el valor por cada bono de carbono, se incentiva la participación de la agroindustria de la caña de azúcar, logrando estar al nivel de las grandes agroindustrias ubicadas en países desarrollados, en cuanto a nivel de productividad, eficiencia energética e innovación tecnológica.
---	---

Fuente: Las autoras

## 7.2 Conclusiones

1. En el sector Agroindustrial de la caña de azúcar del Valle del Cauca, se ha determinado que la ejecución de proyectos MDL, encaminados a obtener bonos de carbono, representaría de forma hipotética una reducción de emisiones de dióxido de carbono del 13,99% respecto a las emisiones actuales. Cabe aclarar que estas reducciones son representativas ambientalmente hablando, pero en términos económicos no son factibles por los altos costos que representa la participación en proyectos MDL y los bajos precios del mercado de los bonos de carbono.
2. Al revisar los requisitos para participar en proyectos MDL, se ha encontrado que para cumplir con los siete puntos de los que consta el ciclo de Mecanismo de Desarrollo Limpio, se requiere de inversión por parte de la agroindustria, tanto en tiempo, como dinero. Estos procesos son muy largos (hasta 8 años para obtener certificación de bonos) y demandan de personal especializado al frente del proyecto, también se requiere de altas cuotas de innovación tecnológica que sumado todo representa altos costos económicos. Teniendo en cuenta estas razones se puede inferir que de los 13 ingenios azucareros más representativos de Colombia no ven esta opción atractiva para sus proyectos de desarrollo.
3. Después de revisar los parámetros ambientales asociados con las emisiones de dióxido de carbono en el Ingenio del Cauca (única agroindustria de la caña de azúcar que participa en proyectos MDL en la actualidad), se ha determinado que en los últimos nueve años ha mejorado



su eficiencia energética, fruto de innovaciones tecnológicas, ajenas a la ejecución del proyecto MDL. También se ha identificado que la participación de Incauca en la molienda de caña es del 14%, con una participación en las emisiones de CO<sub>2</sub> del 5%, situación que resulta alentadora y que tiende a mejorar con la disminución de consumo de carbón como combustible en las calderas.

4. De la ejecución del proyecto MDL presentado por Incauca “Incauca Fuel Switch Project”, se presenta como balance positivo la contribución al desarrollo social, a través de la cooperativa conformada por la comunidad adyacente al ingenio, quienes aún continúan operando en la recolección de hoja de caña (barbecho), que en la actualidad es compostada. Adicionalmente con la experiencia que han obtenido con este proyecto, que ambientalmente presenta grandes beneficios, el ingenio está preparado para el momento en el cual mejoren las condiciones del mercado de los bonos de carbono. Existen grandes expectativas después de la reunión parte de los países que hacen parte del anexo I del protocolo de Kioto programada en Parías en diciembre del presente año.

## 8 Bibliografía

1. Hernández F. & Del Rio P. (2007) El Protocolo de Kioto y su impacto en las empresas Españolas (1ra ed), Madrid España, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
2. Gutiérrez Pérez C. & Gutiérrez Cánovas C. (2009) La Actuación Frente al Cambio Climático (1ra ed) Región de Murcia, España, Universidad de Murcia Servicio de Publicaciones.
3. López V. (2009) Cambio climático y calentamiento global (2da ed) México, Editorial Trillas.
4. Romeo L. Díez L. Lisboa P. González A. Guedea I. Lupiañez C. Martínez A. Lara Y. & Bolea I. (2010) Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub> (1ra ed) Zaragoza España, Prensas Universitarias de Zaragoza.
5. Danus Vasquez H. & Vera Iturria S. (2010) Carbón Protagonista del Pasado, Presente y Futuro (1ra ed) Santiago de Chile, RIL Editores.
6. Asrael W, (2010) Evaluación de los mecanismos de comercialización de la reducción de emisiones en el marco del protocolo de Kyoto para la promoción de proyectos de menor emisión de gases de efecto invernadero. Caso de

estudio sector transporte en México, Tesis para optar al grado de Ingeniería Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

7. Roa T. & Rodriguez D. (2012) Economía Verde al Calor de las Negociaciones del Clima (1ra ed) Bogotá Colombia, Censat Agua Viva- Amigos de la Tierra Colombia.
8. Garvey J. (2012) La ética del cambio climático (1ra ed), Barcelona, España, Editorial Proteus.
9. Méndez J. & Perugache C. (2012) Causalidad y sensibilidad entre precios de los derechos de emisión europeos y los certificados de reducción de emisiones de mecanismos de desarrollo limpio en el mercado europeo de transacción de emisiones. Revista Estudios Gerenciales, 28, 124, 1-17.
10. Campo J. & Olivares W (2013) Relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de energía y el PIB: El caso de los CIVETS. Revista Semestre Económico, 16, 33, 45-66.
11. Pavan S. (2013) Corporación 2020 transformar los negocios para el mundo de mañana (1ra ed) Bogotá, Colombia, Ecoe Ediciones.
12. Palacios D., Trujillo C., Socarras J & Gil N. (2015) Análisis del ciclo de vida del sector azucarero colombiano como herramienta para determinar sus emisiones de gases de efecto invernadero, Técnicaña.

### Fuentes Electrónicas

13. Naciones Unidas (1998) Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Recuperado el 14 de abril de 2014 de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
  
14. Marco Normativo Colombiano Ambiental, recuperado el 14 de abril de 2014, de <http://www.leyex.info/leyes/Ley164de1994.htm>
  
15. International Carbon Action Partnership (ICAP) Status Report 2015, Emissions Trading worldwide, consultado abril 20 de 2015. [https://icapcarbonaction.com/images/StatusReport2015/ICAP\\_Report\\_2015\\_02\\_10\\_online\\_version.pdf](https://icapcarbonaction.com/images/StatusReport2015/ICAP_Report_2015_02_10_online_version.pdf).
  
16. Haug C., (2015) El comercio de derechos de emisión experimenta un rápido desarrollo global, consultado abril 20 de 2015. [https://icapcarbonaction.com/index.php?option=com\\_attach&task=download&id=240](https://icapcarbonaction.com/index.php?option=com_attach&task=download&id=240).
  
17. El PNUD estudia el posible impacto del cambio climático en Colombia, recuperado abril 25 de 2015 de; <http://www.un.org/climatechange/es/blog/2015/04/el-pnud-estudia-el-posible-impacto-del-cambio-climatico-en-colombia/>

18. Asocaña (2010) Guía ambiental para el subsector de la caña de azúcar. Consultado julio 25 de 2015 de:  
<http://www.asocana.org/modules/documentos/9141.aspx>
  
19. Asocaña (2015) Informe anual 2013–2014. Consultado julio 25 de 2015. -  
<http://www.asocana.org/modules/documentos/10572.aspx>
  
20. Asocaña (2015) Anexo Estadístico Informe anual de Asocaña 2013-2014 ,  
consultado el 5 de agosto de 2015 -  
<http://www.asocana.org/modules/documentos/10575.aspx>
  
21. Naciones Unidas (2014) Informe anual de la Junta Ejecutiva del mecanismo  
para un desarrollo limpio a la Conferencia de las Partes en calidad de reunión  
de las Partes en el Protocolo de Kyoto. Consultado agosto 3 de 2015.  
<http://unfccc.int/resource/docs/2014/cmp10/spa/05s.pdf>
  
22. Incauca S.A. (2013) Fuel switch from fossil fuels to biomass residues in boilers  
for heat generation. Consultado julio 22 de 2015.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>
  
23. Fondo de Estabilización del Precio del Azúcar - FEPA (2015) Balance  
azucarero colombiano Asocaña 2000 – 2015. Consultado agosto 8 de 2015.  
<http://www.fepa.com.co/modules/documentos/10662.aspx>
  
24. Cenicaña (2015) Informe anual año 2014. Consultado agosto 12 de 2015.  
[http://www.cenicana.org/publicaciones/info\\_anual/informe\\_anual.php](http://www.cenicana.org/publicaciones/info_anual/informe_anual.php)
  
25. Ballesteros J. & Solera M. (2011) Contribución del Sector Cañero a la  
Mitigación del Cambio Climático. Consultado agosto 08 de 2015.

[http://www.infoagro.go.cr/Documents/Contribucion\\_Sector\\_Cannero\\_a\\_la\\_Mitigacion\\_del\\_Cambio\\_Climatico.pdf](http://www.infoagro.go.cr/Documents/Contribucion_Sector_Cannero_a_la_Mitigacion_del_Cambio_Climatico.pdf)

26. Abadia J. (2014) La experiencia del comercio de derechos de emisión como herramienta para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero - FUNSEAM. consultado agosto 14 de 2015. [http://www.funseam.com/phocadownload/Informes/informe\\_funseam\\_revisin\\_gas\\_efecto\\_invernadero-jesus\\_abada\\_ibaez.pdf](http://www.funseam.com/phocadownload/Informes/informe_funseam_revisin_gas_efecto_invernadero-jesus_abada_ibaez.pdf)
  
27. Grupo Banco Mundial (2014) 4° Bajemos la temperatura como hacer frente a la nueva realidad climática, Washington DC, [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org).
  
28. Incauca S.A. (2012) Informe de sostenibilidad 2010-2011. Consultado agosto 3 de 2015 <http://www.incauca.com/content/Informe-de-Sostenibilidad>.
  
29. Incauca S.A. (2014) Informe de sostenibilidad 2012-2013. Consultado agosto 3 de 2015 <http://www.incauca.com/content/Informe-de-Sostenibilidad>.
  
30. Ingenio Providencia S.A. (2012) de sostenibilidad 2010-2011. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingprovidencia.com/informe-de-sostenibilidad>
  
31. Ingenio Providencia S.A. (2014) de sostenibilidad 2012-2013. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingprovidencia.com/informe-de-sostenibilidad>.
  
32. Mayaguez (2011) Informe de sostenibilidad 2010. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingeniomayaguez.com/responsabilidad-social-empresarial/informe-sostenibilidad-2010>

33. Mayaguez (2012) Informe de sostenibilidad 2011. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingeniomayaguez.com/responsabilidad-social-empresarial/informe-sostenibilidad-2011>
34. Mayaguez (2013) Informe de sostenibilidad 2012. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingeniomayaguez.com/responsabilidad-social-empresarial/informe-sostenibilidad-2012>
35. Mayaguez (2014) Informe de sostenibilidad 2013. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingeniomayaguez.com/responsabilidad-social-empresarial/informe-sostenibilidad-2013>
36. Mayaguez (2015) Informe de sostenibilidad 2014. Consultado agosto 3 de 2015. <http://www.ingeniomayaguez.com/responsabilidad-social-empresarial/informe-sostenibilidad-2014>

### **Páginas Web Consultadas**

37. <http://cdm.unfccc.int/about/index.html>
38. Proyectos MDL, consultado julio 18 de 2015. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/466-plantilla-cambio-climatico-22#documentos-relacionados>
39. Procesos Fabrica Ingenio del Cauca, consultado agosto 11 de 2015. <http://www.incauca.com/content/Calentamiento-y-Clarificaci-n#menu-880>
40. [http://www.cenicana.org/publicaciones/info\\_anual/informe\\_anual.php](http://www.cenicana.org/publicaciones/info_anual/informe_anual.php)

41. <http://finanzascarbono.org/mercados/mecanismo-desarrollo-limpio/desarrollo-proyectos/ciclo/comercializacion/>
42. [http://www.andeancenter.com/images/graficos\\_precioscer/Sept2014.jpg](http://www.andeancenter.com/images/graficos_precioscer/Sept2014.jpg)
43. [http://www.snvworld.org/files/publications/modulo\\_v-cana\\_de\\_azucar.pdf](http://www.snvworld.org/files/publications/modulo_v-cana_de_azucar.pdf)
44. <http://www.un.org/climatechange/es/blog/2015/04/el-pnud-estudia-el-posible-impacto-del-cambio-climatico-en-colombia>



## 9 Anexos

1-Cantidad de caña molida en Colombia desde enero del año 2010 al 2014, estableciendo el total de caña molida tonelada/año.

Año	Mes	CAÑA (t <sup>1/</sup> ) Colombia	CAÑA (t <sup>1/</sup> ) Incauca	Caña Incauca/Colombia
		Caña Molida	Caña Molida	Caña Molida
2010	Enero	1.827.224	217.388	11,90%
	Febrero	1.709.496	232.802	13,62%
	Marzo	1.810.875	255.376	14,10%
	Abril	1.280.074	197.147	15,40%
	Mayo	1.368.995	236.996	17,31%
	Junio	1.692.710	301.441	17,81%
	Julio	1.852.062	341.462	18,44%
	Agosto	2.112.017	395.575	18,73%
	Septiembre	2.049.457	360.138	17,57%
	Octubre	2.072.534	374.471	18,07%
	Noviembre	1.220.180	242.697	19,89%
	Diciembre	1.276.970	221.932	17,38%
Total 2010		20.272.594	3.377.425	16,68%

Fuente: Las autoras con información compilada de FEPA 2015.

1.

Año	Mes	Caña Molida	Caña Molida	Caña Molida
2011	Enero	1.937.959	342.927	17,70%
	Febrero	1.893.843	316.210	16,70%
	Marzo	2.008.667	328.670	16,36%
	Abril	1.485.052	209.794	14,13%
	Mayo	1.742.470	355.846	20,42%
	Junio	1.895.764	321.840	16,98%
	Julio	2.190.252	412.413	18,83%
	Agosto	2.273.399	415.886	18,29%
	Septiembre	2.207.606	389.131	17,63%
	Octubre	2.013.064	341.271	16,95%
	Noviembre	1.652.479	272.143	16,47%
	Diciembre	1.428.204	224.203	15,70%
Total 2011		22.728.758	3.930.332	17,18%

Fuente: Las autoras con información compilada de FEPA 2015

Año	Mes	Caña Molida	Caña Molida	Caña Molida
<b>2012</b>	Enero	1.685.584	261.416	15,51%
	Febrero	1.973.654	329.446	16,69%
	Marzo	2.083.470	310.176	14,89%
	Abril	1.406.868	200.782	14,27%
	Mayo	1.233.631	295.092	23,92%
	Junio	1.997.318	334.563	16,75%
	Julio	2.107.652	359.701	17,07%
	Agosto	2.075.408	327.622	15,79%
	Septiembre	2.005.429	301.281	15,02%
	Octubre	1.700.440	233.804	13,75%
	Noviembre	1.144.776	224.027	19,57%
	Diciembre	1.409.399	141.757	10,06%
<b>Total 2012</b>		<b>20.823.629</b>	<b>3.319.666</b>	<b>16,11%</b>

Fuente: Las autoras con información compilada de FEPA 2015

Año	Mes	Caña Molida	Caña Molida	Caña Molida
<b>2013</b>	Enero	1.415.219	213.875	15,11%
	Febrero	1.526.727	242.204	15,86%
	Marzo	1.484.410	182.231	12,28%
	Abril	1.429.731	249.870	17,48%
	Mayo	935.326	179.191	19,16%
	Junio	1.922.848	344.023	17,89%
	Julio	2.311.142	435.852	18,86%
	Agosto	2.338.868	443.804	18,98%
	Septiembre	2.292.918	422.602	18,43%
	Octubre	2.212.027	359.567	16,26%
	Noviembre	1.871.888	264.702	14,14%
	Diciembre	1.827.138	278.000	15,22%
<b>Total 2013</b>		<b>21.568.243</b>	<b>3.615.920</b>	<b>16,64%</b>

Fuente: Las autoras con información compilada de FEPA 2015

Año	Mes	Caña Molida	Caña Molida	Caña Molida
<b>2014</b>	Enero	1.845.617	308.882	16,74%
	Febrero	1.984.383	296.439	14,94%
	Marzo	2.079.077	257.521	12,39%
	Abril	1.833.918	265.400	14,47%
	Mayo	1.416.006	273.610	19,32%
	Junio	2.065.484	377.990	18,30%
	Julio	2.331.974	457.225	19,61%
	Agosto	2.434.982	466.912	19,18%
	Septiembre	2.303.704	406.554	17,65%
	Octubre	2.188.398	367.245	16,78%
	Noviembre	1.712.510	277.670	16,21%
	Diciembre	2.087.195	384.023	18,40%
<b>Total 2014</b>		<b>24.283.248</b>	<b>4.139.472</b>	<b>17,00%</b>

Fuente: Las autoras con información compilada de FEPA 2015

## 2 - Límites del Proyecto “Incauca S. A. Fuel Switch from Coal to Green

Source		GHGs	Included?	Justification/Explanation
Baseline scenario	Fossil fuel combustion in boilers for heat generation	CO <sub>2</sub>	Yes	
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. This is conservative.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. This is conservative.
	Uncontrolled burning or decay of the biomass residues	CO <sub>2</sub>	No	It is assumed that CO <sub>2</sub> emissions from surplus biomass residues do not lead to changes of carbon pools in the LULUCF sector.
		CH <sub>4</sub>	Yes	Project participants may decide to include this emission source, where cases B1, B2 or B3 are identified as the most likely baseline scenario for the use of the biomass residues.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. This is conservative.
Project scenario	On-site fossil fuel and electricity consumption	CO <sub>2</sub>	Yes	
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be very small.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be very small.
	Off-site transportation of biomass residues	CO <sub>2</sub>	Yes	
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be very small.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be very small.
	Combustion of biomass residues for heat generation	CO <sub>2</sub>	No	It is assumed that CO <sub>2</sub> emissions from surplus biomass residues do not lead to changes of carbon pools in the LULUCF sector.
		CH <sub>4</sub>	<u>Yes</u>	This emission source must be included if project participants decide to include CH <sub>4</sub> emissions from uncontrolled burning or decay of the biomass residues in the baseline scenario.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be small.
	Biomass storage	CO <sub>2</sub>	No	It is assumed that CO <sub>2</sub> emissions from surplus biomass residues do not lead to changes of carbon pools in the LULUCF sector.
		CH <sub>4</sub>	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be very small.
		N <sub>2</sub> O	No	Excluded for simplification. This emission source is assumed to be very small.

### 3. Precios del mercado (SPOT) CERs (dólares) - 2014



Fuente: [http://www.andeancenter.com/images/graficos\\_precioscer/Sept2014.jpg](http://www.andeancenter.com/images/graficos_precioscer/Sept2014.jpg)

#### 4. Análisis Estadístico Molienda de Caña y emisiones de CO<sub>2</sub> en el Valle del Cauca.

<i>Emisiones de CO<sub>2</sub>/ caña molida (toneladas)</i>		<i>Captura de CO<sub>2</sub>/área neta sembrada</i>		<i>Relación Emision/captura CO<sub>2</sub></i>	
Media	5308102,51	Media	4818707,02	Media	1,10462482
Error típico	83544,5732	Error típico	75176,6326	Error típico	0,02495536
Mediana	5349367,13	Mediana	4727880	Mediana	1,1050964
Moda	#N/A	Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	289406,891	Desviación estándar	260419,494	Desviación estándar	0,08644792
Varianza de la muestra	8,3756E+10	Varianza de la muestra	6,7818E+10	Varianza de la muestra	0,00747324
Curtosis	0,35846857	Curtosis	-1,26340405	Curtosis	-1,64612437
Coefficiente de asimetría	-0,11318799	Coefficiente de asimetría	0,61917831	Coefficiente de asimetría	-0,10930796
Rango	1084015,63	Rango	706914,457	Rango	0,23491804
Mínimo	4752765,5	Mínimo	4531299	Mínimo	0,98365683
Máximo	5836781,13	Máximo	5238213,46	Máximo	1,21857488
Suma	63697230,1	Suma	57824484,2	Suma	13,2554978
Cuenta	12	Cuenta	12	Cuenta	12
Nivel de confianza(95,0%)	183880,366	Nivel de confianza(95,0%)	165462,653	Nivel de confianza(95,0%)	0,05492639

## 5 – Prueba DUNCAN - Caña Molida Incauca (2006 – 2014)

Sistema SAS
-------------

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para CaMolida

Note: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05

Grados de error de libertad 88

Error de cuadrado medio 2.2561E9

Número de 2 3 4 5 6 7 8 9 medias

Rango crítico 38536 40550 41886 42864 43621 44231 44736 45163

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	Tto
A	350307	12	2009
A			
A	344956	12	2014
A			
B	327528	12	2011

B	A		
B	A	326090	12 2006
B			
B	C	301327	12 2013
	C		
	C	281452	12 2010
	C		
	C	276639	12 2012
	C		
	C	275758	12 2007
	C		
	C	273730	12 2008



## Procedimiento ANOVA

### Prueba del rango múltiple de Duncan para ConCarbon

Note: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

**Alpha** 0.05

**Grados de error de libertad** 88

**Error de cuadrado medio** 2172259

**Número de medias**      2      3      4      5      6      7      8      9

**Rango crítico**      1196 1258 1300 1330 1354 1372 1388 1401

**Medias con la misma letra no  
son significativamente diferentes.**

	Duncan Agrupamiento	Media	N	Tto
	A	13498.5	12	2006
	B	11674.2	12	2007
	B			
C	B	10815.4	12	2008
C				
C		9959.9	12	2011
C				

Número de medias	2	3	4	5	6	7	8	9
C	D	9578.2	12	2010				
	D							
E	D	8639.1	12	2013				
E	D							
E	D	8551.5	12	2014				
E								
E	F	7955.0	12	2009				
	F							
	F	7228.4	12	2012				

# Procedimiento ANOVA

## Prueba del rango múltiple de Duncan para ProdVapor

Note: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

<b>Alpha</b>	0.05
<b>Grados de error de libertad</b>	88
<b>Error de cuadrado medio</b>	2.5471E9

<b>Número de medias</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Rango crítico</b>	40945	43086	44506	45544	46349	46997	47534	47987

**Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.**

<b>Duncan</b>	<b>Agrupamiento</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>Tto</b>
	A	475598	12	2006
	A			
	A	463950	12	2009
	A			
B	A	435802	12	2011
B	A			

**Medias con la misma letra no  
son significativamente diferentes.**

<b>Duncan Agrupamiento</b>		<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>Tto</b>
B	A	435221	12	2014
B				
B	C	399816	12	2007
B	C			
B	C	394519	12	2013
	C			
	C	388020	12	2012
	C			
	C	382793	12	2010
	C			
	C	382552	12	2008